

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**PENENTUAN LOKASI DG DAN KAPASITOR BANK DENGAN
REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK MEMPEROLEH RUGI
DAYA MINIMAL PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL
MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA**

Ridho Fuaddi
NRP 2213106038

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

**DG AND CAPACITOR BANK PLACEMENT WITH NETWORK
RECONFIGURATION TO GET MINIMAL POWER LOSS IN
RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM USING GENETIC
ALGORITHM**

Ridho Fuaddi
NRP 2213106038

Counsellor Lecturer
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

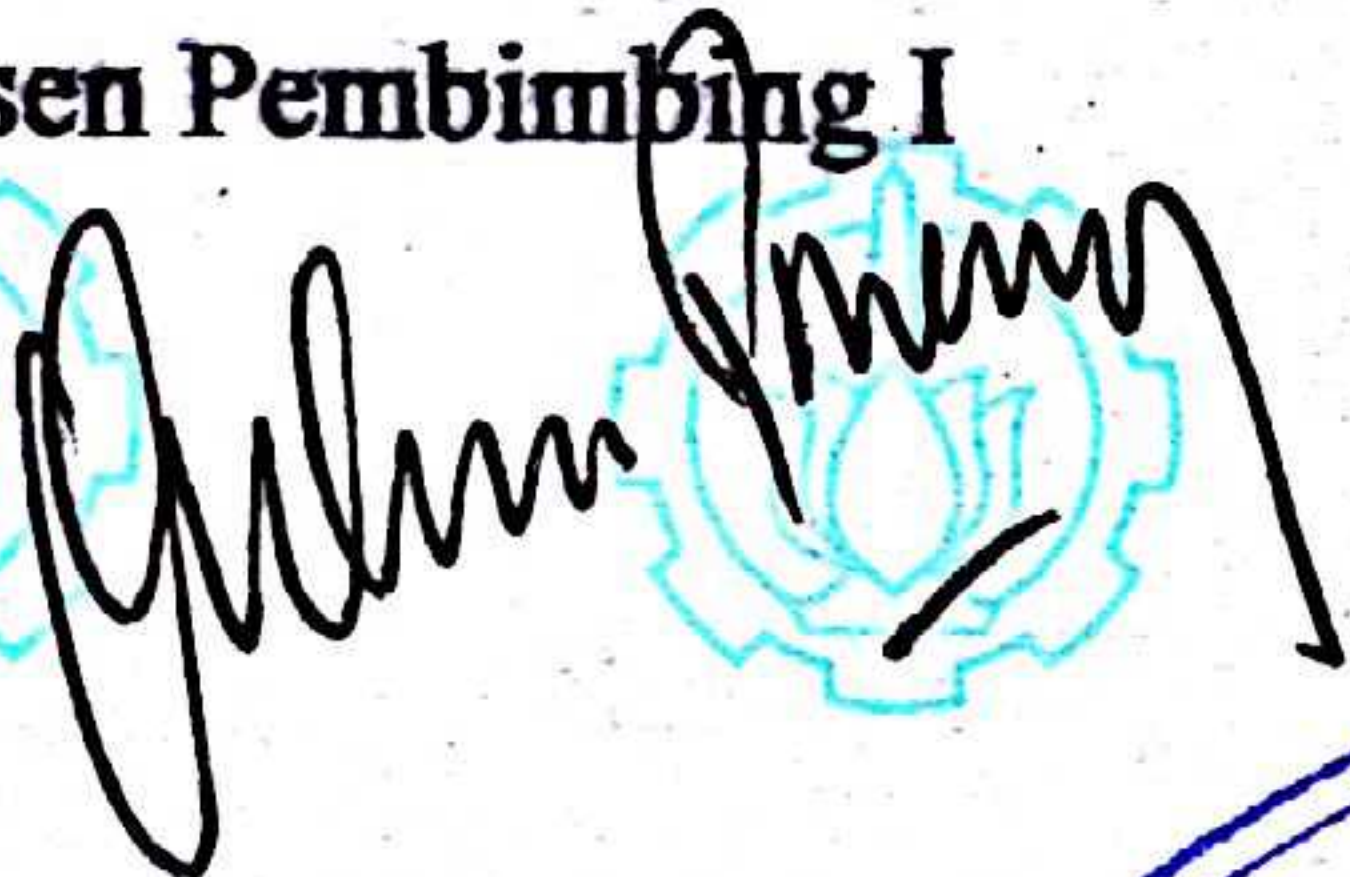
**PENENTUAN LOKASI DG DAN KAPASITOR BANK
DENGAN REKONFIGURASI JARINGAN UNTUK
MEMPEROLEH RUGI DAYA MINIMAL PADA
SISTEM DISTRIBUSI RADIAL MENGGUNAKAN
ALGORITMA GENETIKA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



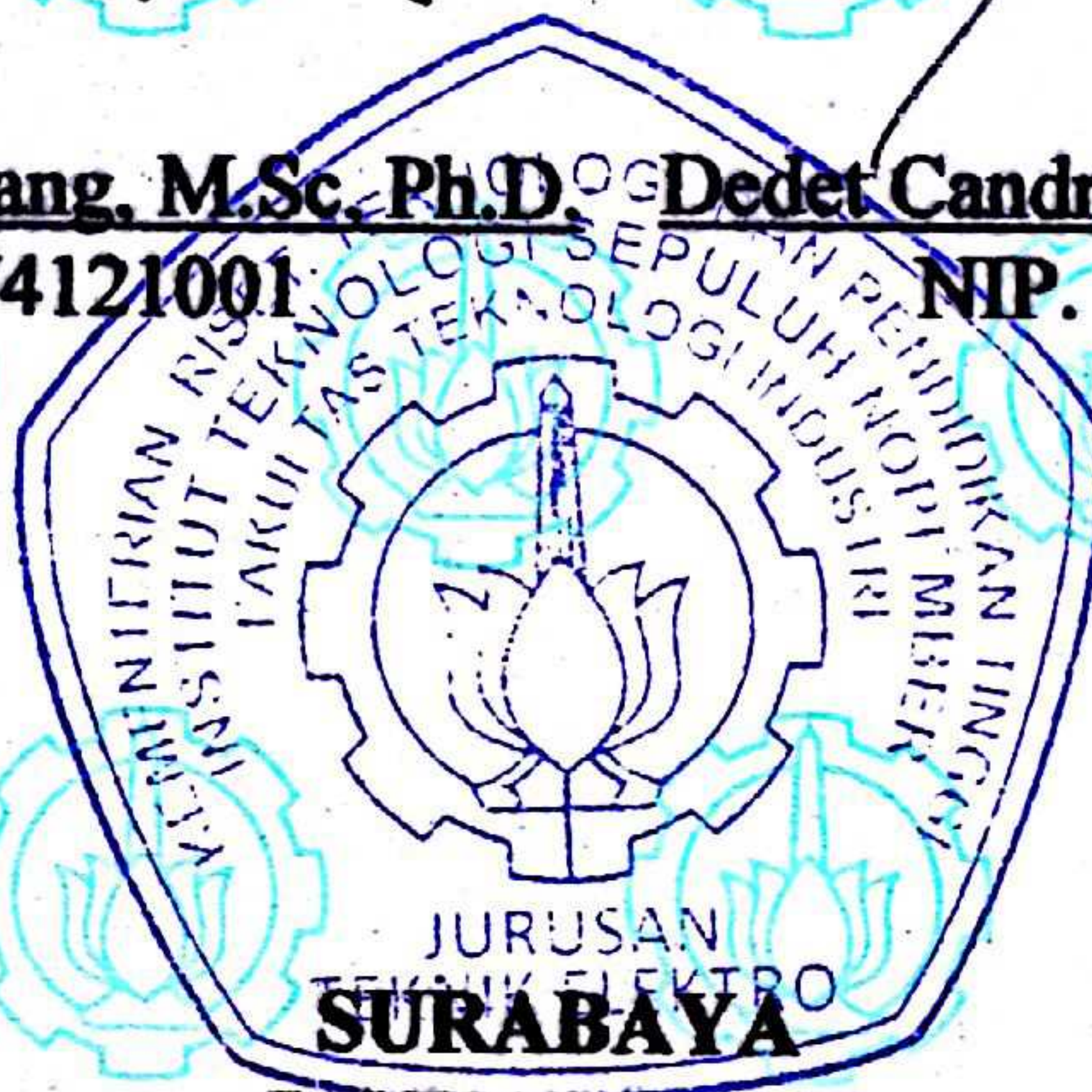
Dosen Pembimbing II



26-01-16

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D., NIP. 194907151974121001

Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D., NIP. 197311192000031001



JANUARI, 2016

Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Memperoleh Rugi Daya Minimal Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Algoritma Genetika

ABSTRAK

Jaringan distribusi yang paling umum digunakan ialah sistem dengan bentuk radial. Sistem ini memiliki bentuk yang sederhana serta biaya investasinya yang terbilang murah. Namun, kualitas pelayanan dayanya relatif buruk yang terjadi akibat adanya rugi daya pada saluran yang cukup besar. Hal itu terjadi karena jaringan distribusi yang merupakan ujung dari saluran transmisi memiliki perbandingan rasio R/X yang tinggi sehingga mengakibatkan rugi daya yang besar. Terdapat beberapa cara untuk mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi yakni dengan menggunakan rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor bank dan pemasangan unit *distributed generation (DG)* pada sistem distribusi. Pada tugas akhir ini, algoritma genetika merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam masalah optimasi penentuan lokasi DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan yang tepat untuk mendapatkan rugi daya yang paling minimal.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, diperoleh perbaikan rugi daya nyata paling optimal sebesar 94,92 % terhadap kondisi awal sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE melalui penggabungan pemasangan DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan.

Kata Kunci: Genetic Algorithm, Distributed Generation, Kapasitor Bank, Rekonfigurasi Jaringan, Sistem Distribusi Radial.

DG And Capacitor Bank Placement With Network Reconfiguration To Get Minimal Power Loss In Radial Distribution System Using Genetic Algorithm

ABSTRACT

The most commonly used distribution network is the system with a radial form. This system having simple form and cost of investment relatively cheap. But, quality of services relatively bad due the large power losses in distribution line. That thing happen causes distribution network are passive termination of the transmission grid with high R/X ratio resulting in high distribution losses. There are some methods of reducing distribution line losses are: network reconfiguration, installing capacitor banks and installation of units distributed generation (DG) in distribution system. In this final project, genetic algorithm is method used for finding optimum location of DG and capacitor banks with possible network reconfiguration for obtain minimal power loss.

From the testing that was done on this research, obtained improvement of real power losses amounted to 94,92% of the initial conditions IEEE standart 33-bus radial ditribution system through merger of DG and capacitor banks installation with network reconfiguration.

Keywords: Genetic Algorithm, Distributed Generation, Capacitor Banks, Network reconfiguration, Radial distribution system..

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penyusunan tugas akhir dengan judul **“Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank dengan Rekonfigurasi Jaringan Untuk Memperoleh Rugi Daya Minimal Pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Algoritma Genetika”** dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan tugas akhir ini mengalami kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Keluarga tercinta, Ayahanda Damrizal dan Ibunda Helmawati serta Abang dan Adik-adik, yakni Irwan Hedrian, Nur Dahlia dan Alfa Rizi, yang selalu mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan studi.
2. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, arahan dan saran-saran yang sangat berharga kepada penulis dalam menyusun tugas akhir.
3. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama studi, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS.
4. Keluarga besar LJ genap 2013, serta Keluarga Lab. B103.
5. Keluarga besar FMM, serta teman seperjuangan elektro asal Politeknik Negeri Padang.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini dari semua pihak.

Surabaya, Januari 2016

Ridho Fuaddi

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | |
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Metodologi | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| 1.7 Relevansi | 4 |
| BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI LISTRIK, REKONFIGURASI JARINGAN, KAPASITOR BANK, DISTRIBUTED GENERATION (DG) DAN GENETIC ALGORITHM | 5 |
| 2.1 Sistem Distribusi Listrik | 5 |
| 2.1.1 Sistem Distribusi Radial | 6 |
| 2.1.2 Rugi Daya | 7 |
| 2.1.3 Rekonfigurasi Jaringan | 8 |
| 2.2 Capacitor Bank | 9 |
| 2.3 Distributed Generation (DG) | 10 |
| 2.4 Genetic Algorithm (GA) | 11 |
| 2.4.1 Istilah-istilah Penting Pada Genetic Algorithm | 12 |
| 2.4.2 Siklus Algoritma Genetika | 13 |
| 2.4.3 Parameter Pada Genetic Algorithm | 14 |
| 2.5 Persamaan Aliran Daya | 15 |

BAB 3 PENENTUAN LOKASI DG DAN KAPASITOR BANK SERTA REKONFIGURASI JARINGAN MENGUNAKAN GENETIC ALGORITHM (GA) ... 17

| | |
|--|----|
| 3.1 Sistem Distribusi Radial 33-bus Standart IEEE..... | 17 |
| 3.2 Optimasi Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank serta Rekonfigurasi Jaringan dengan Penerapan Metode Algoritma Genetika..... | 22 |
| 3.2.1 Pembacaan Kondisi Awal | 23 |
| 3.2.2 Pembangkitan Populasi Awal | 24 |
| 3.2.3 Konfigurasi Kromosom Pada Rekonfigurasi Jaringan | 24 |
| 3.2.4 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG..... | 25 |
| 3.2.5 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi Kapasitor | 25 |
| 3.2.6 Konfigurasi Kromosom simultan atau serentak | 26 |
| 3.2.6.1 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank | 26 |
| 3.2.6.2 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Rekonfigurasi Jaringan | 27 |
| 3.2.6.3 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank serta Rekonfigurasi Jaringan..... | 27 |
| 3.2.7 Dekode Kromosom | 27 |
| 3.2.8 Evaluasi Fitness | 28 |
| 3.2.9 Seleksi Induk atau Orang Tua..... | 29 |
| 3.2.10 Cross Over | 29 |
| 3.2.11 Mutasi | 30 |
| 3.2.12 Elitism..... | 30 |

BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS 31

| | |
|----------------------------|----|
| 4.1 Simulasi Kasus A..... | 31 |
| 4.2 Simulasi Kasus B | 35 |
| 4.3 Simulasi Kasus C | 39 |
| 4.4 Simulasi Kasus D..... | 46 |
| 4.5 Simulasi Kasus E | 54 |
| 4.6 Simulasi Kasus F..... | 61 |

BAB 5 PENUTUP 71

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 71 |
| 5.2 Saran | 71 |

DAFTAR PUSTAKA 73

LAMPIRAN 75
RIWAYAT PENULIS 87

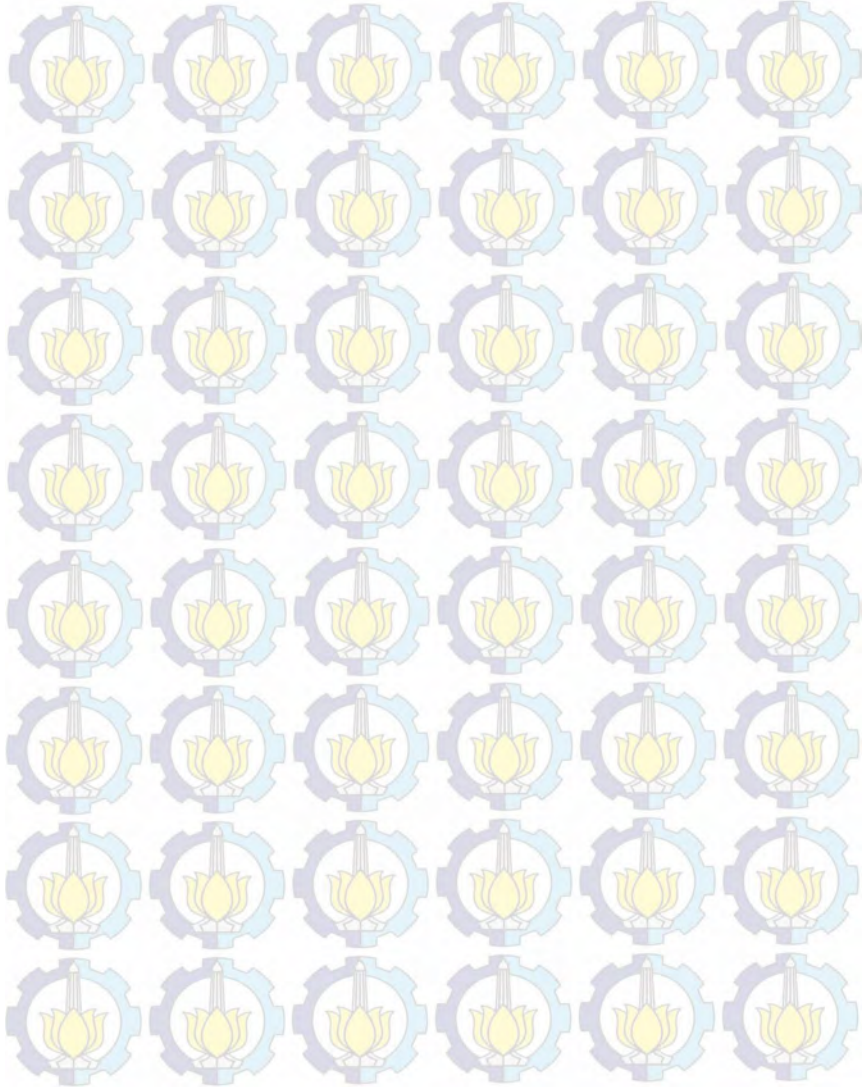


TABLE OF CONTENT

| | Pages |
|---|-------|
| TITLE PAGE | |
| VALIDATION SHEET | |
| APPROVAL SHEET | |
| ABSTRACT (IND) | i |
| ABSTRACT (ENG) | iii |
| PREFACE | v |
| TABLE OF CONTENT | vii |
| ILLUSTRATIONS | xi |
| TABLES | xiii |
| CHAPTER 1 INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Background | 1 |
| 1.2 Problems | 2 |
| 1.3 Objectives | 2 |
| 1.4 Constraint | 2 |
| 1.5 Methodology..... | 2 |
| 1.6 Systematic of writing | 3 |
| 1.7 Relevance | 4 |
| CHAPTER 2 ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM, NETWORK RECONFIGURATION, CAPACITOR BANK, DISTRIBUTED GENERATION (DG) AND GENETIC ALGORITHM | 5 |
| 2.1 Electrical Distribution System | 5 |
| 2.1.1 Radial Distribution System..... | 6 |
| 2.1.2 Power Losses | 7 |
| 2.1.3 Network Reconfiguration..... | 8 |
| 2.2 Capacitor Bank | 9 |
| 2.3 Distributed Generation (DG) | 10 |
| 2.4 Genetic Algorithm (GA) | 11 |
| 2.4.1 Important term on Genetic Algorithm | 12 |
| 2.4.2 Genetic Algorithm Cycle | 13 |
| 2.4.3 Parameter on Genetic Algorithm | 14 |
| 2.5 Load Flow Equation | 15 |

CHAPTER 3 DG AND CAPACITOR BANK PLACEMENT WITH NETWORK RECONFIGURATION USING GENETIC

ALGORITHM (GA) 17

3.1 Radial Distribution System 33-bus Standart IEEE..... 17

3.2 Optimization DG and Capacitor Bank with Network Reconfiguration by Implementation Genetic Algorithm..... 22

3.2.1 Initial Condition 23

3.2.2 Generate Initial Population 24

3.2.3 Chromosome Configuration on Network Reconfiguration..... 24

3.2.4 Chromosome Configuration on DG Placement..... 25

3.2.5 Chromosome Configuration on Capacitor Bank Placement..... 25

3.2.6 Chromosome Configuration simultaneous 26

3.2.6.1 Chromosome Configuration on DG and Capacitor Bank Placement..... 26

3.2.6.2 Chromosome Configuration on DG and Network Reconfiguration 27

3.2.6.3 Chromosome Configuration on DG and Capacitor Bank Placement with Network Reconfiguration 27

3.2.7 Chromosome Decode..... 27

3.2.8 Fitness Evaluation 28

3.2.9 Parents Selection 29

3.2.10 Cross Over 29

3.2.11 Mutasion 30

3.2.12 Elitism 30

CHAPTER 4 SIMULATION AND ANALYSIS 31

4.1 Case Simulation A 31

4.2 Case Simulation B..... 35

4.3 Case Simulation C..... 39

4.4 Case Simulation D 46

4.5 Case Simulation E..... 54

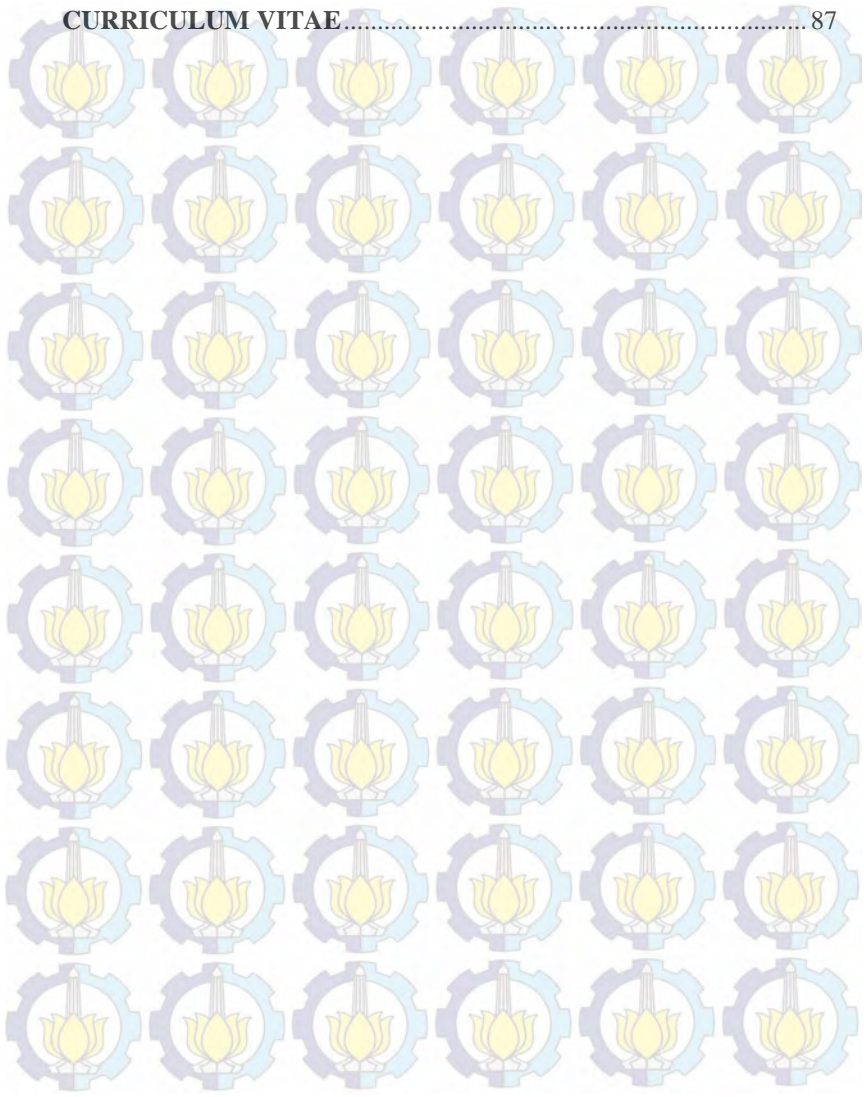
4.6 Case Simulation F 61

CHAPTER 5 FINALE 71

5.1 Conclusion 71

5.2 Suggestion 71

BIBLIOGRAPHY73
ENCLOSURE75
CURRICULUM VITAE87



DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Sistem distribusi energi listrik | 5 |
| Gambar 2.2 Sistem distribusi radial 150 kV/20 kV..... | 6 |
| Gambar 2.3 Rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial..... | 8 |
| Gambar 2.4 Distributed generation (DG) | 10 |
| Gambar 2.5 Ilustrasi istilah pada algoritma genetika | 13 |
| Gambar 2.6 Single line diagram penyulang utama..... | 16 |
| Gambar 3.1 Sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE | 22 |
| Gambar 3.2 Diagram alir optimasi menggunakan GA | 23 |
| Gambar 3.3 Inisialisasi populasi pada rekonfigurasi jaringan..... | 24 |
| Gambar 3.4 Konfigurasi kromosom penentuan lokasi DG..... | 25 |
| Gambar 3.5 Konfigurasi kromosom penentuan lokasi kapasitor..... | 25 |
| Gambar 3.6 Konfigurasi kromosom DG dan kapasitor bank | 26 |
| Gambar 3.7 Konfigurasi kromosom DG dan rekonfigurasi jaringan | 26 |
| Gambar 3.8 Konfigurasi kromosom DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan | 27 |
| Gambar 3.9 Dekode atau penerjemahan kromosom..... | 27 |
| Gambar 3.10 Mekanisme crossover satu titik | 29 |
| Gambar 3.11 Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner..... | 30 |
| Gambar 4.1 Grafik rugi daya aktif pada kasus A | 33 |
| Gambar 4.2 Grafik tegangan (V_{LN}) pada Kasus A | 35 |
| Gambar 4.3 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus A dan B..... | 37 |
| Gambar 4.4 Grafik tegangan (V_{LN}) pada kasus B | 39 |
| Gambar 4.5 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus C..... | 44 |
| Gambar 4.6 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus C..... | 46 |
| Gambar 4.7 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus D..... | 51 |
| Gambar 4.8 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus D..... | 53 |
| Gambar 4.9 grafik perbandingan rugi daya aktif kasus E. | 58 |
| Gambar 4.10 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus E | 61 |
| Gambar 4.11 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus F | 67 |
| Gambar 4.12 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus F | 69 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi 33-bus IEEE | 19 |
| Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE | 20 |
| Tabel 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus A | 32 |
| Tabel 4.2 Tegangan (V_{LN}) pada kasus A | 34 |
| Tabel 4.3 Hasil simulasi aliran daya Kasus B | 35 |
| Tabel 4.4 Tegangan (V_{LN}) pada kasus B | 38 |
| Tabel 4.5 Hasil rekonfigurasi jaringan menggunakan GA | 39 |
| Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya kasus C “ <i>rule of thumb</i> ” | 40 |
| Tabel 4.7 Hasil simulasi GA pada DG “ <i>rule of thumb</i> ” | 41 |
| Tabel 4.8 Hasil simulasi aliran daya kasus C “ <i>max demand</i> ” | 42 |
| Tabel 4.9 Hasil simulasi GA pada DG “ <i>max demand</i> ” | 43 |
| Tabel 4.10 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus C “ <i>rule of thumb</i> ” | 45 |
| Tabel 4.11 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus C “ <i>max demand</i> ” | 45 |
| Tabel 4.12 Hasil simulasi aliran daya kasus D “ <i>rule of thumb</i> ” | 47 |
| Tabel 4.13 Hasil simulasi GA pada Penentuan lokasi DG dan rekonfigurasi jaringan “ <i>rule of thumb</i> ” | 49 |
| Tabel 4.14 Hasil simulasi aliran daya kasus D “ <i>max demand</i> ” | 49 |
| Tabel 4.15 Hasil simulasi GA pada penentuan lokasi DG dan rekonfigurasi jaringan “ <i>max demand</i> ” | 50 |
| Tabel 4.16 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus D “ <i>rule of thumb</i> ” | 52 |
| Tabel 4.17 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus D “ <i>max demand</i> ” | 52 |
| Tabel 4.18 Hasil simulasi aliran daya kasus E “ <i>rule of thumb</i> ” | 54 |
| Tabel 4.19 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “ <i>rule of thumb</i> ” | 55 |
| Tabel 4.20 Hasil simulasi aliran daya kasus E “ <i>max demand</i> ” | 56 |
| Tabel 4.21 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “ <i>max demand</i> ” | 57 |
| Tabel 4.22 Perbandingan tegangan hasil simulasi pada kasus E | 59 |
| Tabel 4.23 Hasil simulasi menggunakan GA pada kasus F “ <i>rule of thumb</i> ” | 62 |
| Tabel 4.24 Hasil simulasi menggunakan GA pada kasus F “ <i>max demand</i> ” | 62 |
| Tabel 4.25 Hasil simulasi aliran daya kasus F “ <i>rule of thumb</i> ” | 63 |
| Tabel 4.26 Hasil simulasi aliran daya kasus F “ <i>max demand</i> ” | 65 |
| Tabel 4.27 Perbandingan profil tegangan pada kasus F | 68 |



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jaringan distribusi yang paling umum digunakan ialah sistem dengan bentuk radial. Sistem ini memiliki bentuk yang sederhana serta biaya investasinya yang terbilang murah. Namun, kualitas pelayanan dayanya relatif buruk yang terjadi akibat adanya rugi daya pada saluran yang cukup besar. Hal itu terjadi karena jaringan distribusi yang merupakan ujung dari saluran transmisi memiliki perbandingan rasio R/X yang tinggi sehingga mengakibatkan rugi daya yang besar [1]. Terdapat beberapa cara untuk mengurangi rugi daya pada jaringan distribusi yakni dengan menggunakan rekonfigurasi jaringan, pemasangan *capacitor bank* dan pemasangan unit *distributed generation* pada sistem distribusi [2].

Rekonfigurasi jaringan merupakan upaya mengubah topologi jaringan dengan cara membuka atau menutup *sectionalizing* dan *tie switch* yang terdapat pada saluran. Pada kenyataannya, rekonfigurasi jaringan saja belum mampu mengurangi rugi daya secara signifikan. Sehingga perlu ditambahkan *capacitor bank* dan *distributed generation* pada lokasi yang tepat agar diperoleh rugi daya paling minimal [3]. Ketiga cara tersebut diterapkan secara serentak atau simultan pada jaringan distribusi radial. Guna mendapatkan hasil yang optimal, diperlukan suatu metode yang mampu menyelesaikan permasalahan yang bersifat optimasi.

Pada tugas akhir ini, algoritma genetika merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam masalah optimasi penentuan lokasi DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan yang tepat untuk mendapatkan rugi daya yang paling minimum [4]. Metode ini diterapkan pada jaringan distribusi radial dengan beberapa studi kasus yang berbeda. Dimulai dari penerapan dari masing-masing cara dalam mengurangi rugi daya terhadap sistem yang diujikan hingga penggabungan dari ketiganya yang dilakukan secara serentak. Hasil yang diharapkan nantinya ialah mendapatkan rugi daya terkecil dengan membandingkan setiap studi kasus yang dilakukan.

1.2 Permasalahan

Hal yang menjadi permasalahan dalam Tugas Akhir ini :

1. Penentuan lokasi optimal DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial untuk memperoleh rugi daya minimal.
2. Membandingkan hasil optimasi dengan studi kasus yang berbeda.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini :

1. Mengoptimalkan penempatan lokasi DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan yang tepat menggunakan algoritma genetika.
2. Memperoleh rugi daya yang paling minimal pada jaringan distribusi radial.

1.4 Batasan Masalah

Dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, terdapat batasan yang diperlukan, diantaranya :

1. Fungsi objektif pada optimasi yang dilakukan adalah memperoleh rugi daya nyata yang paling minimal.
2. Menggunakan metode *genetic algorithm* (GA) untuk memperoleh lokasi dan daya keluaran dari penempatan DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi yang tepat.
3. Menggunakan sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE.
4. Menggunakan Matlab R2010a.
5. Tidak membahas analisa aliran daya secara detail.
6. Sistem berada pada keadaan seimbang ($R = S = T$).
7. Analisa dilakukan pada keadaan sistem steady state.

1.5 Metodologi

Metodologi yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori pendukung, paper atau jurnal terkait yang memiliki kasus serupa dan mendalami pemrograman pada Matlab.
2. Pengumpulan Data
Mengumpulkan data dari sistem distribusi radial IEEE 33 bus berupa data beban, data saluran dan data hasil pengujian dengan metode yang berbeda.

3. Permodelan Sistem dan Perancangan Perangkat Lunak

Memodelkan sistem distribusi radial dalam penerapan optimasi dan merancang perangkat lunak yang mampu memperoleh konfigurasi jaringan yang tepat serta lokasi penempatan terbaik dari *distributed generation* dan kapasitor bank menggunakan algoritma genetika pada Matlab.

4. Pengujian dan Analisa

Melakukan pengujian ke sistem distribusi radial yang telah dimodelkan dengan beberapa studi kasus yang berbeda dan melakukan analisa terhadap rugi daya nyata yang menjadi fungsi obyektif pada penelitian ini.

5. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan dilakukan sebagai wadah untuk merekam dan menampung hasil penelitian ke dalam bentuk tulisan yang berisikan teori terkait permasalahan yang diangkat, proses yang dilakukan selama penelitian, analisa dari hasil yang didapatkan dan kesimpulan dari tugas akhir ini. Selain itu terdapat saran atas apa yang telah dilakukan dengan harapan dapat berguna untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang ditetapkan pada penyusunan laporan tugas ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan.

Bab ini berisikan tentang latar belakang dari pengerjaan tugas akhir, tujuan, permasalahan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi pengerjaan tugas akhir.

BAB II

Sistem Distribusi, Rekonfigurasi Jaringan, Kapasitor Bank, *Distributed Generation* (DG) dan *Genetic Algorithm* (GA).

Bab ini membahas tentang teori penunjang yang berkaitan dengan tugas akhir. Seperti sistem distribusi, rekonfigurasi jaringan, kapasitor bank, *distributed generation* dan metode *genethic algorithm* yang digunakan sebagai basis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III

Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank serta Rekonfigurasi Jaringan Menggunakan Algoritma Genetika.

Bab ini berisikan tentang penerapan dari metode *Genetic Algorithm* yang diaplikasikan untuk menentukan lokasi dari *distributed generation* dan Kapasitor bank serta

rekonfigurasi jaringan yang tepat pada jaringan distribusi radial. Bab ini berisikan pula tentang data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB IV

Simulasi dan Analisis .

Bab ini berisikan tentang hasil penelitian dan analisis dari pengujian dari beberapa studi kasus yang berbeda. Dimulai dari basis sistem hingga penggabungan dari ketiga cara untuk memperoleh rugi daya yang paling minimal.

BAB V

Penutup.

Bab ini merupakan bagian akhir dari laporan, yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian dan analisis pada tugas akhir yang dilakukan.

1.7 Relevansi

Manfaat yang diharapkan dalam tugas akhir ini :

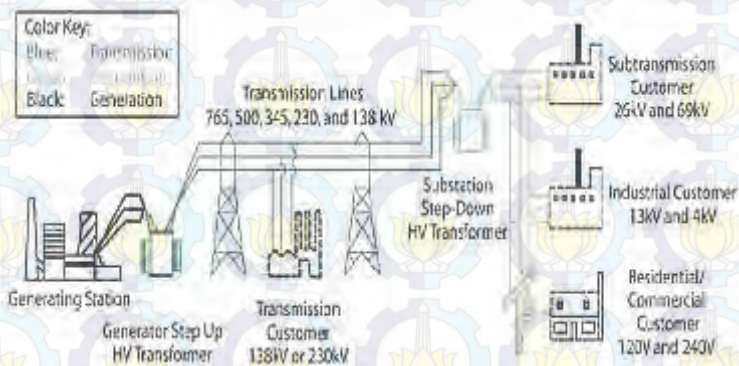
1. Perbaikan kualitas pelayanan daya yang relatif buruk pada sistem distribusi radial sebagai akibat adanya rugi daya yang besar.
2. Diperoleh lokasi yang optimal untuk DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat dalam upaya untuk meminimalkan rugi daya pada sistem distribusi radial.

BAB 2

SISTEM DISTRIBUSI, REKONFIGURASI JARINGAN, KAPASITOR BANK, DISTRIBUTED GENERATION (DG) DAN GENETIC ALGORITHM (GA)

2.1 Sistem Distribusi Energi Listrik

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat secara keseluruhan, baik bagi rumah tangga maupun industri. Tingginya tingkat kebutuhan masyarakat akan energi listrik mengharuskan dibangunnya pusat pembangkit energi listrik. Bermula dari pusat pembangkit ini energi listrik disalurkan konsumen untuk dimanfaatkan sesuai kebutuhan. Umumnya pusat pembangkit energi listrik berlokasi jauh dari konsumen, seperti di tepi laut, di pegunungan dan tempat lainnya dimana terdapat sumber energi primer yang dibutuhkan oleh pembangkit. Maka dari itu, dibutuhkanlah suatu proses distribusi untuk dapat menyalurkan energi listrik menuju ke konsumen.



Gambar 2.1 Sistem distribusi energi listrik [5]

Pada gambar diatas diperlihatkan bahwa tahap awal dalam proses distribusi energi listrik ialah energi yang dihasilkan oleh pembangkit disalurkan melalui saluran transmisi, lalu menuju ke saluran distribusi dan akhirnya sampai ke konsumen. Pada saluran distribusi ini, energi listrik didistribusikan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

Pada praktiknya, berdasarkan letak sistem distribusi dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yakni :

1. Sistem distribusi primer

Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat menengah (1–35 kV, di Indonesia umumnya 20 kV) disebut sistem distribusi primer. Sistem tersebut terletak sebelum trafo distribusi yang menghubungkan antara sisi sekunder trafo gardu induk dengan sisi primer trafo distribusi.

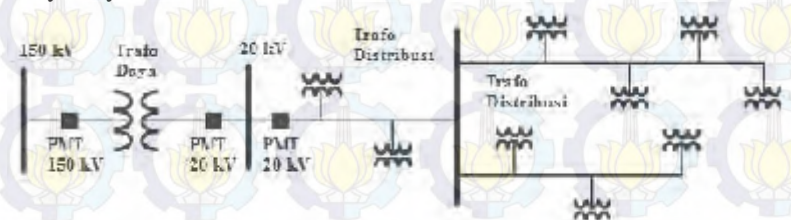
2. Sistem distribusi sekunder

Energi listrik yang disalurkan pada tegangan tingkat rendah (0,1 – 1 kV, di Indonesia umumnya 220V/380V) disebut sistem distribusi sekunder. Sistem tersebut terletak setelah trafo distribusi. Sistem distribusi sekunder menghubungkan sisi sekunder trafo distribusi dengan sisi konsumen.

Berdasarkan konfigurasinya, sistem distribusi dibagi menjadi tiga bagian, yakni: sistem distribusi radial, sistem distribusi ring dan sistem distribusi spindle. Pada tugas akhir ini, sistem yang digunakan adalah sistem distribusi dengan konfigurasi radial.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial merupakan sistem yang paling sering digunakan karena memiliki konfigurasi paling sederhana dan investasi terhadap sistem ini tergolong murah. Sistem tersebut dikatakan radial karena salurannya ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari sistem tersebut dan dicabangkan ke titik-titik beban yang dilayaninya.



Gambar 2.2 Sistem distribusi radial 150kV/20kV

Karena hanya ada satu sumber yang menyuplai sistem dan adanya pencabangan ke titik beban yang dilayani, maka arus yang mengalir menuju ke beban sepanjang saluran menjadi tidak sama. Sehingga, luas

penampang konduktor pada sistem distribusi radial ini ukurannya tidak sama. Sebab arus yang paling besar ialah yang paling dekat letaknya terhadap gardu induk. Menjadikan saluran yang paling dekat dengan gardu induk memiliki ukuran penampang yang relatif besar dibanding saluran lainnya. Semakin ke ujung maka arus yang menuju ke beban semakin kecil pula. Mengakibatkan luas penampang konduktornya lebih kecil sesuai besar arus yang mengalirinya.

Sistem ini memiliki kekurangan dalam segi kualitas pelayanan daya yang relatif buruk. Hal itu disebabkan oleh rugi daya yang cukup besar, adanya drop tegangan serta besar nilai impedansi pada tiap saluran. Sistem dengan bentuk radial ini memiliki kontinuitas pelayanan daya yang kurang baik. karena hanya memiliki satu alternatif saluran saja. Sehingga ketika terjadi gangguan pada saluran, maka saluran setelahnya akan mengalami pemadaman sampai gangguan dapat diatasi.

2.1.2 Rugi Daya

Energi listrik yang disalurkan pada sistem distribusi dari gardu induk/trafo distribusi menuju konsumen mengalami kerugian atau biasa disebut rugi daya. Hal ini disebabkan, karena saluran pada sistem distribusi memiliki impedansi dan beban yang ditanggungnya. Terdapat beberapa penyebab rugi daya pada saluran distribusi, diantaranya :

1. Kerugian akibat pelunakan

Kerugian akibat pelunakan terjadi pada logam bahan penyusun konduktor saluran. Pelunakan dipengaruhi oleh fungsi suhu dan waktu. Bersamaan dengan adanya penurunan batas tegangan tarik pada keadaan kumulatif. Pelunakan yang terlihat dan kerugian tegangan tarik tidak berpengaruh jika penghantar dalam batas yang dianjurkan.

2. Kerugian akibat panas

Kerugian akibat panas terjadi jika suatu konduktor dialiri arus listrik secara terus-menerus yang kemudian menimbulkan panas. Panas tersebut muncul sebagai akibat dari energi listrik yang mengalir pada sepanjang konduktor saluran distribusi. Panas yang dihasilkan berbanding lurus terhadap energi listrik yang hilang pada saluran distribusi.

3. Kerugian akibat jarak

Kerugian akibat Jarak sangat berpengaruh pada besarnya kerugian pada sistem distribusi. Karena semakin panjang konduktor pada saluran tersebut maka akan semakin besar tegangan listrik yang

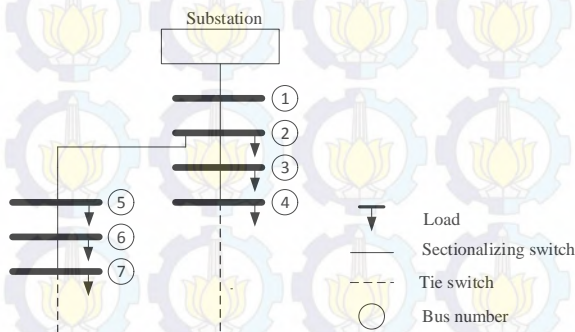
hilang. Hal tersebut disebabkan akibat adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) yang dimiliki oleh konduktor pada saluran sistem distribusi.

Adapun cara yang umum dipakai untuk mengatasi rugi daya pada saluran sistem distribusi ialah dengan rekonfigurasi jaringan, pemasangan *capacitor bank* dan pemasangan unit *distributed generation*.

2.1.3 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan upaya mengubah topologi jaringan dengan cara membuka atau menutup *sectionalizing* dan *tie switch* yang terdapat pada saluran. Cara ini bertujuan untuk mengurangi rugi daya yang ada pada saluran distribusi. Rekonfigurasi atau Konfigurasi ulang jaringan memungkinkan sistem untuk dapat melayani beban yang sama namun dengan rugi daya yang lebih sedikit serta mencegah adanya ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi.

Untuk mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang paling optimal digunakan konsep *branch exchange*. *Branch exchange* merupakan cara yang paling mudah diterapkan pada sistem distribusi radial. Jika *tie switch* tertutup, maka akan ada *loop* yang terbentuk sehingga harus ada saluran dengan *sectionalizing switch* yang dibuka untuk mengembalikan sistem ke bentuk radial.



Gambar 2.3 Rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi radial

Jumlah dari *sectionalizing switch* pada jaringan distribusi sangat banyak. Sehingga, terdapat banyak kemungkinan kombinasi dari konfigurasi jaringan tersebut. Metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan rekonfigurasi jaringan ini adalah dengan

menggunakan metode pendekatan berdasarkan teori evolusi yang bersifat adaptif. Pada tugas akhir ini, rekonfigurasi jaringan diterapkan terhadap sistem distribusi radial dan pada kasus tertentu diterapkan bersamaan dengan pemasangan *distributed generation* dan *capacitor bank*.

2.2 Capacitor Bank

Capasitor Bank merupakan suatu komponen kompensator yang dapat bekerja untuk memperbaiki faktor daya, pengatur tegangan dan untuk mengurangi rugi daya pada suatu sistem. *Capacitor bank* tersusun dalam unit standar yang dihubungkan seri atau paralel untuk memperoleh rating tegangan dan kVA yang diharapkan. Pada pengaplikasiannya, *Capasitor bank* dapat digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif yang sekaligus menjaga kualitas tegangan dan juga untuk meningkatkan efisiensi pada sistem.

Perolehan nilai daya reaktif yang besar per unit volume pada *Capasitor bank* diperoleh dengan cara mendapatkan rugi daya yang rendah dengan mengoperasikannya pada tegangan tinggi. Mengenai alasan ini, pengoperasian yang lama pada tegangan sebaiknya dihindari guna mencegah terjadinya kerusakan dielektrik akibat panas. Penentuan rating daya reaktif pada *Capasitor bank* diperoleh melalui hasil selisih faktor daya lama dan faktor daya baru dikalikan dengan daya semu total.

Pada pengoperasian *capacitor bank*, ada faktor-faktor yang perlu diperhatikan, yaitu :

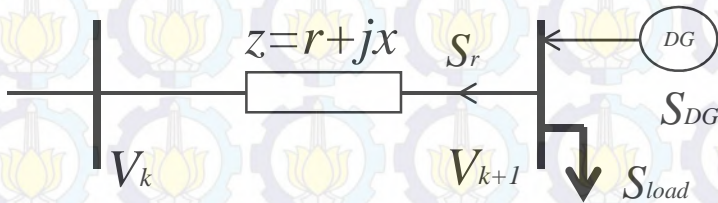
- a. Temperatur udara di sekitar *capacitor bank* harus dibawah ambang batas.
- b. Ketinggian lokasi *capacitor bank* tidak lebih dari 1800 mdpl.
- c. Tegangan antara terminal dengan tangki *capacitor bank* tidak melebihi tegangan yang ditetapkan untuk kelas isolasinya.
- d. Tegangan operasi tidak mengandung harmonisa; frekuensi tegangan operasi sama dengan frekuensi nominal.
- e. Asap, debu dan getaran mekanis yang mungkin menerpa unit-unit *capacitor bank*.

Untuk memperpanjang usia suatu *capacitor bank*, dapat dilakukan cara sebagai berikut :

- Susunan unit-unit *Capasitor bank* harus memiliki jalur bagi sirkulasi udara.
- Menempatkan *Capasitor bank* dikawasan temperatur rendah.
- Mendinginkan *Capasitor bank* dengan udara paksa.

2.3 Distributed Generation

Distributed generation (DG) merupakan pembangkit energi listrik yang berdiri sendiri diluar pembangkit utama pada jaringan. DG terkoneksi dengan sistem distribusi untuk memenuhi kebutuhan konsumen dan memiliki kapasitas pembangkitan lebih kecil dari pada pembangkit energi listrik utama. Pada sistem distribusi, DG umumnya dipasang untuk mengurangi atau menghilangkan rugi daya pada saluran distribusi. Keberadaan DG dapat mengurangi permintaan daya aktif dari gardu distribusi selaku sumber, sehingga daya yang masih tersedia dapat di alokasikan ke beban lain atau beban baru. Gambar berikut ini menampilkan contoh dari pengaplikasian DG pada suatu *plant* atau sistem.



Gambar 2.4 Pemasangan DG pada sistem distribusi

Berdasarkan gambar 2.4, rugi daya yang terjadi ketika DG ditempatkan pada suatu lokasi dalam sistem distribusi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$S_r = S_{lk} - S_{DG} \quad (1)$$

$$P_{D, lk} = r (S_r) \quad (2)$$

Dimana, S_{load} dan S_{DG} merupakan daya yang dikonsumsi beban dan daya yang dihasilkan oleh DG sehingga untuk mendapatkan besarnya kerugian daya setelah pemasangan DG maka daya yang dikonsumsi beban tersebut dikurangi dengan daya yang dihasilkan DG.

DG umumnya berupa generator ukuran kecil dengan tingkat emisi yang rendah bahkan ada yang memiliki tingkat emisi hampir mendekati 0%. Hal ini memungkinkan terlaksananya kebijakan pengurangan jumlah emisi yang dihasilkan oleh pembangkit energi listrik. Selanjutnya, keberadaan DG diharapkan dapat merubah sistem monopoli energi listrik

yang bersifat terpusat menjadi lebih kompeten. Pada kasus ini, dimaksudkan bahwa pihak lain dapat pula menjual energi listrik kepada konsumen sehingga dapat menimbulkan persaingan yang akhirnya dapat menekan harga energi listrik.

Berdasarkan teknologi yang digunakan, DG dibagi menjadi 2 tipe yakni, teknologi terbarukan (seperti PV dan turbin angin) dan teknologi tak terbarukan (seperti *fuel cells*). Penentuan lokasi, besar kapasitas dan jumlah unit dari DG sangat berperan penting dalam memperoleh rugi daya yang paling minimal pada sistem distribusi. DG memiliki macam varian kapasitas, mulai dari pembangkitan 1 Watt hingga terbesar yaitu 300MW. Berikut ini merupakan klasifikasi DG berdasarkan kapasitas pembangkitan yang dimilikinya :

Tabel 2.1 kategori DG berdasarkan kapasitas

| Jenis DG | Kapasitas Pembangkitan |
|-----------|------------------------|
| Micro DG | 1 Watt – 5 kW |
| Small DG | 5 kW – 5 MW |
| Medium DG | 5 MW – 50 MW |
| Large DG | 50 MW – 300 MW |

Pada penggunaannya DG memiliki beberapa keuntungan, diantaranya sebagai berikut:

1. DG memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *power plants*, dalam hal penyaluran daya karena dapat membantu mengurangi rugi daya pada sistem.
2. DG bersifat ramah lingkungan, emisi yang dihasilkan dari produksi energi listrik dikategorikan rendah.
3. Pemasangan DG yang berada dekat dengan beban dapat meningkatkan keandalan dalam pemanfaatan daya.
4. DG sebagai sumber energi lokal dapat membantu untuk penghematan daya.

2.4 Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm atau dari segi bahasa berarti algoritma genetika, peletak prinsip dasarnya ialah John Holland lalu disempurnakan oleh David E. Goldberg. Algoritma Genetika sebagai cabang dari algoritma evolusi merupakan metode adaptif yang biasa digunakan untuk memecahkan suatu pencarian nilai dalam sebuah masalah optimasi. Algoritma berdasarkan pada proses genetik yang ada pada makhluk hidup, yakni perkembangan generasi dalam suatu populasi yang alami,

secara lambat laun mengikuti prinsip seleksi alam. Dimana hanya individu yang terkuatlah yang mampu bertahan.

Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yakni seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu, yang masing-masing individu merepresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi permasalahan yang ada. Dalam hal ini, individu melambangkan sebuah nilai *fitness* yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari permasalahan.

Individu pada populasi berkesempatan untuk melakukan reproduksi melalui perkawinan silang dengan individu lain. Hasil reproduksi dinamakan anak yang merupakan keturunan, anak tersebut membawa sifat dari induknya. Sedangkan individu pada populasi yang tak terseleksi akan mati dan tersingkir. Dengan cara ini, generasi yang memiliki karakteristik yang baik akan bermunculan pada populasi. Banyaknya perkawinan antar individu akan menghasilkan banyak kemungkinan terbaik yang mampu diperoleh.

Untuk dapat menjalankan algoritma genetika, diperlukan sebuah kode yang sesuai yang dapat merepresentasikan persoalan yang dihadapi. Kode berupa kromosom yang terdiri atas komponen genetik yang disebut gen. Dalam penerapannya, algoritma genetika membutuhkan beberapa operator kerja, yakni : operator seleksi, perkawinan silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). Untuk memperoleh hasil optimal, perlu dilakukan proses evaluasi terhadap *fitness* yang di representasikan oleh individu terpilih yang menjadi solusi. Hal ini berfungsi untuk mengecek apakah solusi telah sesuai dengan target yang diharapkan.

2.4.1 Istilah-istilah Penting Pada Genetic Algorithm (GA)

Pada pelaksanaannya, algoritma genetika menggunakan istilah dari disiplin ilmu biologi. Hal tersebut disebabkan karena algoritma genetika menerapkan teori evolusi dan seleksi yang terjadi di alam. Beberapa istilah yang dipergunakan dalam algoritma genetika dalam mendefinisikan individu untuk menyelesaikan permasalahan diantaranya sebagai berikut :

- a. **Genotype (Gen)**, nilai yang menyatakan satuan dasar pada individu yang mendefinisikan arti tertentu. Gen dapat berupa nilai biner, float, integer, karakter maupun kombinatorial.
- b. **Allele**, nilai dari gen.

- c. **Kromosom**, Sekumpulan gen yang membentuk satu kesatuan nilai.
- d. **Individu**, Satu-kesatuan kromosom yang menyatakan kemungkinan solusi dari permasalahan.
- e. **Populasi**, Sekumpulan individu yang akan diproses bersama dalam satu siklus proses evolusi.
- f. **Generasi**, menyatakan satu siklus perulangan atau satu iterasi dalam algoritma genetika.
- g. **Nilai fitness**, nilai yang menyatakan baik tidaknya suatu solusi atau individu.

Gambar dibawah ini merupakan ilustrasi yang menjelaskan istilah-istilah pada algoritma genetika :



Gambar 2.5 Ilustrasi istilah pada Algoritma Genetika [4]

2.4.2 Siklus Algoritma Genetika

Algoritma genetika menerapkan prinsip teori evolusi, secara umum prosesnya dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pembangkitan populasi awal

Populasi awal pada algoritma genetika dibangkitkan secara random yang merupakan solusi awal dari permasalahan. Populasi tersebut terdiri dari sejumlah individu yang tersusun atas kromosom yang merupakan representasi solusi yang diharapkan.

2. Pembentukan populasi baru

Populasi baru diperoleh menggunakan bantuan operator seleksi (*selection*), kawin silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). seleksi merupakan proses pemilihan 2 individu yang akan menjadi induk untuk menghasilkan keturunan atau anak. Induk terpilih selanjutnya di kawin silangkan guna memperoleh 2 keturunan yang baru. Setelahnya, dilakukan proses mutasi untuk merubah satu atau beberapa nilai gen dalam suatu kromosom untuk memperoleh individu baru. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang, sampai diperoleh individu-individu dengan nilai *fitness* terbaik yang menggantikan populasi lama.

3. Pengevaluasian solusi

Nilai *fitness* pada suatu individu merepresentasikan kualitas dari individu dalam suatu populasi. Nilai *fitness* pada individu untuk tiap generasinya akan dievaluasi terhadap fungsi objektif dari permasalahan yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses evaluasi terus dilakukan sampai terpenuhi kriteria berhenti. Apabila kriteria berhenti belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah kedua. Terdapat beberapa kriteria berhenti yang biasa digunakan, seperti : berhenti pada generasi tertentu, berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai *fitness* tertinggi tidak berubah dan berhenti dalam n generasi tidak didapatkan nilai *fitness* yang lebih tinggi.

2.4.3 Parameter Pada Algoritma Genetika

Pada genetika algoritma terdapat parameter penting yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan nilai *fitness* terbaik. Adapun parameter tersebut diantaranya :

1. Probabilitas Persilangan (*Crossover Probability*)

Probabilitas persilangan menunjukkan kemungkinan terjadinya *crossover* pada 2 individu atau kromosom. Jika *crossover* tidak terjadi maka keturunannya akan sama persis dengan kromosom yang dimiliki orangtua. Namun, bukan berarti generasi yang baru akan sama persis dengan generasi yang awal. *Crossover* dilakukan

dengan harapan bahwa kromosom pada generasi yang baru akan lebih baik nilai fitnessnya.

2. Probabilitas Mutasi (*Mutation Probability*)

Probabilitas mutasi menunjukkan kemungkinan terjadinya mutasi pada gen yang menyusun sebuah individu atau kromosom. Jika mutasi tidak terjadi maka keturunan yang dihasilkan setelah *crossover* akan tetap. Sebaliknya, jika terjadi mutasi maka ada gen pada kromosom yang nilainya akan berubah.

3. Jumlah Individu

Hal ini menunjukkan jumlah individu atau kromosom yang berada pada suatu populasi generasi tertentu. Jumlah dari individu berpengaruh terhadap variasi hasil optimasi pada algoritma genetika. Kemungkinan untuk menemukan hasil yang paling optimal akan semakin besar apabila terdapat banyak variasi individu.

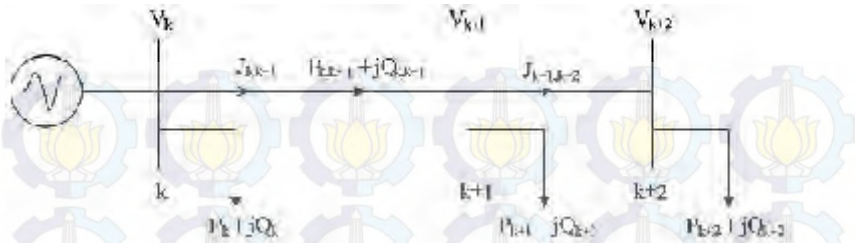
4. Jumlah Generasi

Hal ini menentukan jumlah generasi atau iterasi yang dilakukan sebagai batas akhir proses algoritma genetika.

2.5 Persamaan Aliran Daya

Aliran daya merupakan persamaan nonlinier yang dapat diselesaikan menggunakan teknik iterasi. Pada tugas akhir ini, teknik yang digunakan adalah *backward-forward sweep*. Informasi yang diperoleh dari studi aliran daya berupa magnitudo dan sudut fasa tegangan pada setiap bus dan magnitudo dan sudut fasa arus pada tiap saluran. Sehingga dapat dihitung rugi daya pada sistem yang dianalisis tersebut.

Tujuan utama pada tugas akhir ini adalah untuk memperoleh lokasi yang optimal dari DG dan kapasitor bank pada sistem serta konfigurasi yang tepat agar mendapatkan total rugi daya yang paling minimal. Perhitungan untuk menentukan total rugi daya pada sistem menggunakan persamaan sebagai berikut [7] :



Gambar 2.6 Single line diagram penyulang utama [7]

Gambar diatas memperlihatkan aliran daya dari sistem distribusi dan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$J_{k,k+1} = I_{k+1} + I_{k+2} \quad (3)$$

$$I_k = \left(\frac{P_k + jQ_k}{V_k} \right)^* \quad (4)$$

Dimana,

I_k persamaan injeksi arus pada *node* k

$J_{k,k+1}$ arus cabang pada saluran antara bus k dan bus k+1

Nilai arus J pada persamaan (1) diperoleh dengan membentuk matrik BIBC (Bus current Injection to Branch Current) yaitu,

$$[J] = [B] * [I] \quad (5)$$

Dengan menerapkan hukum tegangan Kirchhoff maka diperoleh persamaan,

$$V_{k+1} = V_k - J_{k,k+1} * (R_{k,k+1} + jX_{k,k+1}) \quad (6)$$

Dimana,

V_k tegangan pada bus k

$R_{k,k+1}$ resistansi saluran antara bus k dan bus k+1

$X_{k,k+1}$ reaktansi saluran antara bus k dan bus k+1

Rugi daya nyata pada setiap saluran yang menghubungkan bus k ke bus k+1 dapat dinyatakan melalui persamaan berikut

$$P_{lt} (k,k+1) = \frac{R_{k,k+1}}{|V_k|^2} (P_k^2 + Q_k^2) \quad (7)$$

Dimana,

P_k beban daya aktif pada bus k

Q_k beban daya reaktif pada bus k

$P_{lt} (k,k+1)$ rugi daya aktif pada saluran antara bus k dan bus k+1

berdasarkan persamaan (7), dapat dihitung total rugi daya nyata dengan menjumlahkan rugi daya pada setiap saluran sehingga diperoleh persamaan berikut

$$P_{T,lt} = \sum_{k=1}^n P_{lt} (k,k+1) \quad (8)$$

Dimana,

$P_{T,lt}$ total rugi daya aktif pada seluruh saluran di sistem



BAB 3

PENENTUAN LOKASI DG DAN KAPASITOR BANK SERTA REKONFIGURASI JARINGAN MENGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM* (GA)

Pada bab ini akan dijelaskan tentang bagaimana penentuan lokasi yang optimal pada DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan yang tepat menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode ini diterapkan terhadap sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE dengan tujuan untuk memperoleh rugi daya nyata yang paling minimal.

3.1 Sistem Distribusi Radial 33-bus Standart IEEE

Pada tugas akhir ini, sistem distribusi radial yang digunakan ialah sistem tes 33-bus standart IEEE. Sistem yang digunakan berupa saluran distribusi tiga fasa seimbang dimana terdapat 32 *sectionalizing switchs* dan 5 *tie switchs*. Berikut ini merupakan data beban dan data saluran yang tersedia serta bentuk dari topologi sistem radial yang bersumber dari referensi [1].

Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi 33-bus IEEE [1]

| No. Bus | P _L (MW) | Q _L (MVAR) | No. Bus | P _L (MW) | Q _L (MVAR) |
|------------|------------------------|--------------------------|------------|------------------------|--------------------------|
| 2 | 0.100 | 0.060 | 18 | 0.090 | 0.040 |
| 3 | 0.090 | 0.040 | 19 | 0.090 | 0.040 |
| 4 | 0.120 | 0.080 | 20 | 0.090 | 0.040 |
| 5 | 0.060 | 0.030 | 21 | 0.090 | 0.040 |
| 6 | 0.060 | 0.020 | 22 | 0.090 | 0.040 |
| 7 | 0.200 | 0.100 | 23 | 0.090 | 0.050 |
| 8 | 0.200 | 0.100 | 24 | 0.420 | 0.200 |
| 9 | 0.060 | 0.020 | 25 | 0.420 | 0.200 |
| 10 | 0.060 | 0.020 | 26 | 0.060 | 0.025 |
| 11 | 0.045 | 0.030 | 27 | 0.060 | 0.025 |
| 12 | 0.060 | 0.035 | 28 | 0.060 | 0.020 |

Tabel 3.1 Data beban sistem distribusi 33-bus IEEE [1] (tabel lanjutan)

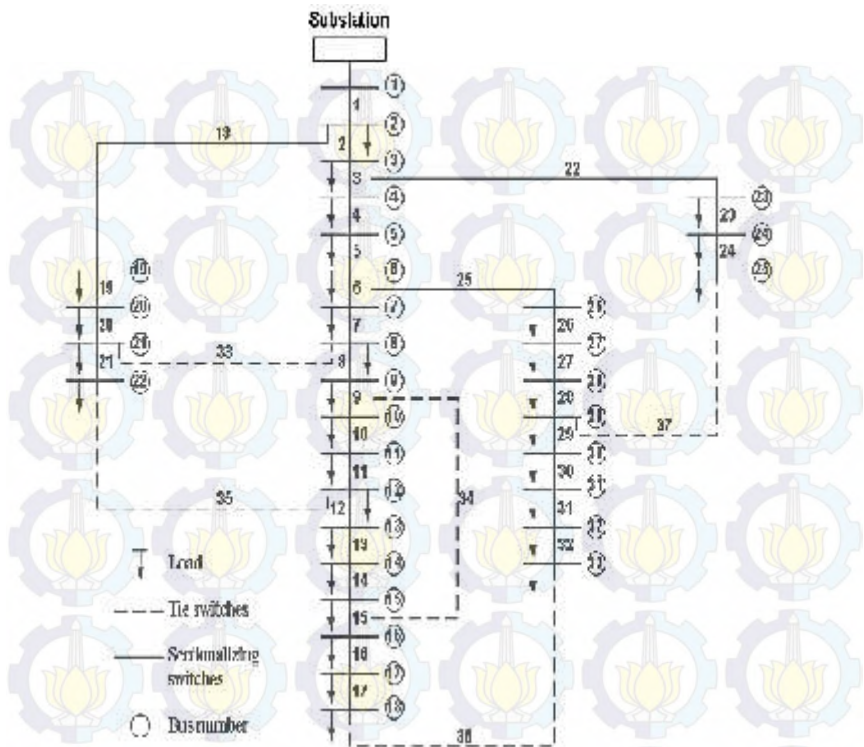
| No. Bus | P_L (MW) | Q_L (MVAR) | No. Bus | P_L (MW) | Q_L (MVAR) |
|---------|------------|--------------|---------|------------|--------------|
| 13 | 0.060 | 0.035 | 29 | 0.120 | 0.070 |
| 14 | 0.120 | 0.080 | 30 | 0.200 | 0.600 |
| 15 | 0.060 | 0.010 | 31 | 0.150 | 0.070 |
| 16 | 0.060 | 0.020 | 32 | 0.210 | 0.100 |
| 17 | 0.060 | 0.020 | 33 | 0.060 | 0.040 |

Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE [1]

| No. Cabang | Bus Kirim | Bus Terima | Resistansi R (ohm) | Reaktansi X (ohm) |
|------------|-----------|------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 1 | 2 | 0.0922 | 0.0470 |
| 2 | 2 | 3 | 0.4930 | 0.2512 |
| 3 | 3 | 4 | 0.3661 | 0.1864 |
| 4 | 4 | 5 | 0.3811 | 0.1941 |
| 5 | 5 | 6 | 0.8190 | 0.7070 |
| 6 | 6 | 7 | 0.1872 | 0.6188 |
| 7 | 7 | 8 | 0.7115 | 0.2351 |
| 8 | 8 | 9 | 1.0299 | 0.7400 |
| 9 | 9 | 10 | 1.0440 | 0.7400 |
| 10 | 10 | 11 | 0.1967 | 0.0651 |
| 11 | 11 | 12 | 0.3744 | 0.1298 |
| 12 | 12 | 13 | 1.4680 | 1.1549 |
| 13 | 13 | 14 | 0.5416 | 0.7129 |
| 14 | 14 | 15 | 0.5909 | 0.5260 |
| 15 | 15 | 16 | 0.7462 | 0.5449 |
| 16 | 16 | 17 | 1.2889 | 1.7210 |
| 17 | 17 | 18 | 0.7320 | 0.5739 |
| 18 | 2 | 19 | 0.1640 | 0.1565 |

Tabel 3.2 Data saluran sistem distribusi 33-bus IEEE [1] (tabel lanjutan)

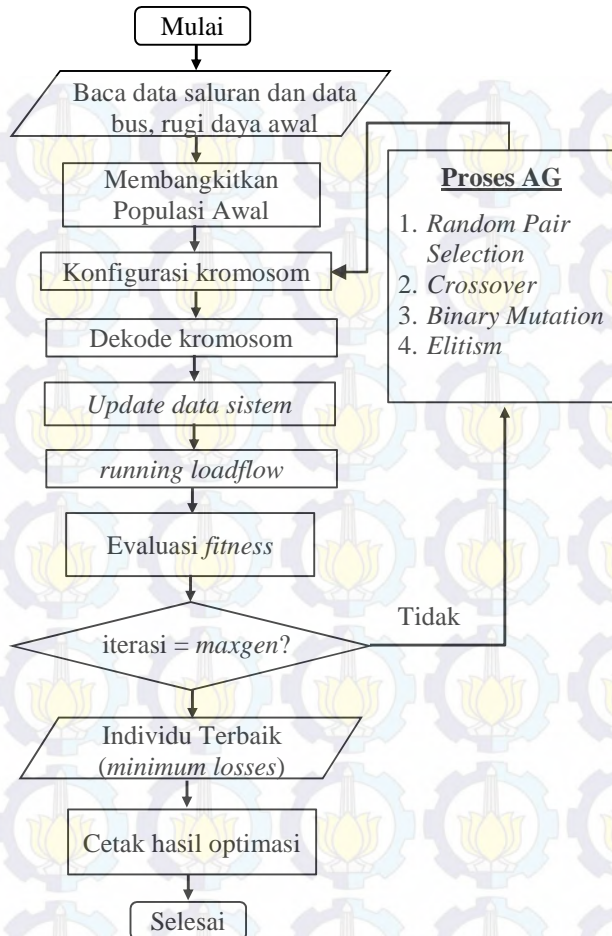
| No. Cabang | Bus Kirim | Bus Terima | Resistansi R (ohm) | Reaktansi X (ohm) |
|------------|-----------|------------|--------------------|-------------------|
| 19 | 19 | 20 | 1.5042 | 1.3555 |
| 20 | 20 | 21 | 0.4095 | 0.4784 |
| 21 | 21 | 22 | 0.7089 | 0.9373 |
| 22 | 3 | 23 | 0.4512 | 0.3084 |
| 23 | 23 | 24 | 0.8980 | 0.7091 |
| 24 | 24 | 25 | 0.8959 | 0.7091 |
| 25 | 6 | 26 | 0.2031 | 0.1034 |
| 26 | 26 | 27 | 0.2842 | 0.1447 |
| 27 | 27 | 28 | 1.0589 | 0.9338 |
| 28 | 28 | 29 | 0.8043 | 0.7006 |
| 29 | 29 | 30 | 0.5074 | 0.2585 |
| 30 | 30 | 31 | 0.9745 | 0.9629 |
| 31 | 31 | 32 | 0.3105 | 0.3619 |
| 32 | 32 | 33 | 0.3411 | 0.5302 |
| 33 | 8 | 21 | 2.0000 | 2.0000 |
| 34 | 9 | 15 | 2.0000 | 2.0000 |
| 35 | 12 | 22 | 2.0000 | 2.0000 |
| 36 | 18 | 33 | 0.5000 | 0.5000 |
| 37 | 25 | 29 | 0.5000 | 0.5000 |



Gambar 3.1 Sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE [1]

3.2 Optimasi Penentuan Lokasi DG Dan Kapasitor Bank serta Rekonfigurasi Jaringan dengan Penerapan Metode Algoritma Genetika

Algoritma genetika atau *Genetic Algorithm* (GA) merupakan suatu algoritma pencarian berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika. Metode algoritma genetika dipilih karena dinilai sederhana dan sesuai dalam menyelesaikan permasalahan non-linier dari sistem tenaga yang bersifat optimasi [4]. Berikut ini merupakan diagram alir dari penerapan metode algoritma genetika untuk penentuan lokasi optimal DG dan kapasitor serta rekonfigurasi jaringan yang tepat pada sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE.



Gambar 3.2 Diagram alir optimasi menggunakan GA

3.2.1 Pembacaan Kondisi Awal

Pada kondisi ini dilakukan pembacaan data awal berupa data bus dan data saluran. Data tersebut diproses menggunakan program *loadflow* sehingga didapat profil tegangan pada tiap bus dan rugi daya awal sebelum dilakukan optimasi menggunakan GA. Hal tersebut dilakukan guna memperoleh status awal dari sistem serta untuk mengetahui data

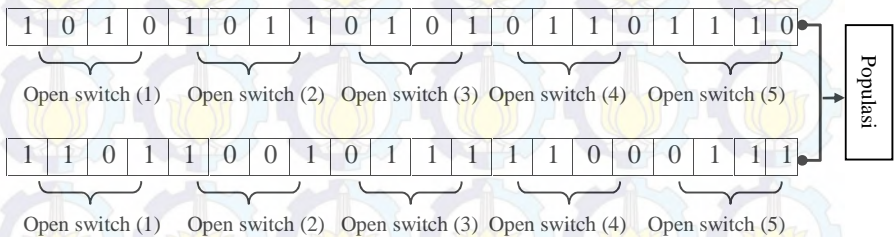
yang digunakan sebagai *constrain*/batasan dalam menentukan nilai fitness berdasarkan fungsi objektif yang diinginkan.

3.2.2 Pembangkitan Populasi Awal

Pada tahap ini dilakukan pembangkitan populasi yang terdiri dari banyak individu yang jumlahnya dapat ditentukan sesuai keinginan. Individu tersebut dapat pula disebut sebagai kromosom yang terdiri atas kumpulan gen yang berupa nilai biner atau nilai desimal yang dibangkitkan secara acak. Gen pembentuk kromosom panjang bit-nya tergantung dari parameter yang diinputkan sesuai dengan studi kasus yang dilakukan.

3.2.3 Konfigurasi Kromosom Pada Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan dilakukan dengan mengubah status *open* atau *close* dari *switch* pada tiap saluran. Sehingga diperoleh konfigurasi sistem distribusi yang baru dengan rugi daya yang minimal berdasarkan *looping* pada sistem tersebut.. Banyaknya *looping* tergantung dari jumlah *tie switch* yang tersedia pada sistem. Sehingga ketika dalam suatu *looping* terdapat *tie switch* yang ditutup atau disambung maka akan ada *sectionalizing switch* yang dibuka sehingga jaringan akan tetap pada bentuk radial. Berikut ini merupakan inisialisasi populasi pada rekonfigurasi jaringan menggunakan algoritma genetika.



Gambar 3.3 Inisialisasi populasi pada rekonfigurasi jaringan

Proses inisialisasi populasi pada GA berisi kromosom yang mengandung gen berupa 20 bit nilai biner yang dibangkitkan secara acak. Nilai tersebut terbagi menjadi 5 bagian yang merepresentasikan *switch* mana yang akan dibuka.

3.2.4 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG

Untuk pengkodean sebuah DG maka di bentuk suatu kromosom yang terdiri dari 13 bit biner gen. Kromosom terbagi menjadi 2 bagian bit yaitu 8 bit untuk pengkodean daya keluaran DG dan 5 bit untuk pengkodean lokasi DG. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.4 Konfigurasi kromosom penentuan lokasi DG

Bit biner dari kromosom akan bertambah kelipatan 13 sebanyak unit DG yang digunakan. Kromosom tersebut akan digabungkan menjadi satu individu dalam algoritma genetika. Pada tugas akhir ini, daya keluaran pada DG di-set berupa daya aktif (P) saja.

3.2.5 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi Kapasitor Bank

Pengkodean kromosom untuk penentuan lokasi kapasitor tak beda halnya dengan pengkodean pada penentuan lokasi DG, hanya berbeda pada bagian daya keluaran kapasitor yang menyuplai daya reaktif (Q).



Gambar 3.5 Konfigurasi kromosom penentuan lokasi kapasitor

3.2.6 Konfigurasi Kromosom simultan atau serentak

Pada tugas akhir ini, terdapat tiga macam pengkodean penggabungan yang dilakukan secara simultan atau serentak :

- Penentuan lokasi DG dan kapasitor bank
- Penentuan lokasi DG dan rekonfigurasi jaringan
- Penentuan lokasi DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan

3.2.6.1 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank

Pada pengkodean yang menggabungkan antara penentuan lokasi DG dan kapasitor secara simultan menggunakan cara yang sama. Pengkodean dilakukan dengan menggabung kromosom DG dan kromosom kapasitor dalam satu individu. Dengan urutan DG yang ditempatkan terlebih dahulu baru kemudian kapasitor bank. Pada tugas akhir ini, digunakan 3 unit DG dan 5 unit kapasitor bank. Maka jumlah gen dalam satu individu adalah 13 bit per unit dikalikan 8 total unit menjadi 104 bit biner gen.



Gambar 3.6 Konfigurasi kromosom DG dan kapasitor bank

3.2.6.2 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Rekonfigurasi Jaringan

Pengkodean penentuan lokasi DG rekonfigurasi jaringan secara simultan dilakukan dengan cara menggabungkan kromosom DG dan kromosom rekonfigurasi jaringan dalam satu individu. Dengan menempatkan DG terlebih dahulu baru selanjutnya rekonfigurasi jaringan. Jumlah gen dalam satu individu pada kasus ini adalah 59 bit, yang terdiri dari 13 bit per unit dikalikan 3 unit DG ditambah 20 bit biner gen pada kromosom rekonfigurasi jaringan.



Gambar 3.7 Konfigurasi kromosom DG dan rekonfigurasi jaringan

3.2.6.3 Konfigurasi Kromosom Penentuan Lokasi DG dan Kapasitor Bank serta Rekonfigurasi Jaringan

Jumlah gen dalam satu individu pada kasus penggabungan ketiga metode ini adalah 124 bit, terdiri dari 13 bit per unit dikalikan 8 unit (3 DG dan 5 kapasitor bank) ditambah 20 bit biner gen pada kromosom rekonfigurasi jaringan. Untuk urutan kromosomnya dimulai dari DG, kapasitor bank kemudian rekonfigurasi jaringan.

| | | | | | | | | |
|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| DG 1 | | DG n | Cap 1 | | Cap n | Os 1 | | Os n |
|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|

Gambar 3.8 Konfigurasi kromosom DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan

3.2.7 Dekode Kromosom

Populasi yang terdiri dari individu yang telah dibangkitkan dalam bentuk biner tidak bisa ditempatkan secara langsung untuk memperbarui data bus dan data saluran maupun menghasilkan menghasilkan fitness. Kromosom yang berupa data biner harus di dekodekan atau diterjemahkan sesuai data base yang tersedia untuk dirubah menjadi bentuk angka desimal. Untuk selanjutnya data yang telah diterjemahkan akan dijadikan sebagai input dari *loadflow* dan akan dilakukan evaluasi terhadap fitness pada masing-masing individu. Berikut ini merupakan contoh penerjemahan data biner yang dimiliki oleh individu menjadi data desimal sebagai masukan untuk *loadflow*.

Kromosom 1 DG dan 1 Kapasitor bank

= 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0

Daya keluaran
Lokasi
Daya keluaran
Lokasi

Solusi = [0,84 21 0,66 14]

Gambar 3.9 Dekode atau penerjemahan kromosom

Gambar diatas memperlihatkan hasil dari dekode atau penerjemahan kromosom 1 unit DG dan 1 unit kapasitor bank. Dimana kromosom tersebut memiliki arti berupa daya keluaran DG 0,84 MW dan daya keluaran kapasitor bank 0,66 MVAR yang ditempatkan pada bus 21 dan 14. Data ini selanjutnya akan dimasukkan ke dalam data bus yang lama untuk diperbarui dan kemudian dilakukan evaluasi terhadap fitness.

3.2.8 Evaluasi Fitness

Evaluasi fitness merupakan tahap yang paling menentukan dalam pengambilan nilai optimasi dari suatu permasalahan. Pada tahap ini, hasil dari pembaruan data bus berdasarkan daya keluaran dan lokasi dari DG atau kapasitor bank, serta pembaruan data saluran melalui optimasi rekonfigurasi jaringan akan di evaluasi fitnessnya. Hal tersebut dilakukan guna mengetahui hasil yang diperoleh telah atau belum memenuhi batasan/constraint yang diberikan.

Pada tugas akhir ini, fungsi objektif yang diinginkan dari penentuan lokasi DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan ialah total rugi daya nyata yang paling minimal.

Fungsi objektif,

$$M \quad P_{T,n} = \sum_{k=1}^n \frac{R_{k,k+1}}{|V_k|^2} (P_k^2 + Q_k^2) \quad (9)$$

Dimana,

$P_{T,n}$ total rugi daya aktif pada seluruh saluran di sistem
n jumlah bus yang ada pada sistem

Individu yang menghasilkan fitness dan memenuhi batasan akan menjadi calon solusi. Batasan atau constraint yang diberikan pada pengoptimasian pada tugas akhir ini adalah batasan daya keluaran DG dan kapasitor serta batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus. Daya keluaran pada DG dan kapasitor bank dibatasi dengan 2 cara :

- Menggunakan *rule of thumb* (ROT) [6]
- Menggunakan *max demand* (MD) [7]

Batasan daya keluaran DG dan kapasitor bank menggunakan *rule of thumb* adalah 2/3 dari total beban daya aktif (3.715 MW) dan 2/3 dari total beban daya reaktif (2.3 MVAR) yakni sebesar 2.476 MW dan 1.533 MVAR. Sedangkan, batasan daya keluaran DG dan kapasitor bank menggunakan *max demand* atau pembebanan maksimum dari sistem sebesar 3.715 MW total beban daya aktif dan 2.3 MVAR total beban daya reaktif.

Batasan tegangan yang diizinkan pada tiap bus dimana selisih antara tegangan tiap bus dengan tegangan sumber yakni 12,66 kV tidak

boleh melebihi 5%. Diharapkan tidak terjadi *under voltage* ataupun *over voltage* yaitu tegangan harus berada antara 0.95 p.u dan 1.05 p.u.

$$V \leq |V_k| \leq V \quad (14)$$

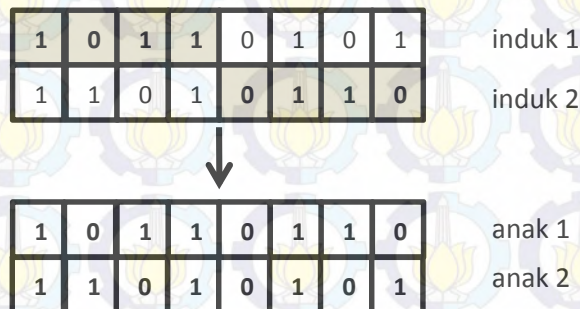
3.2.9 Seleksi Induk atau Orang Tua

Pada tugas akhir ini, metode seleksi yang digunakan untuk memilih orang tua ialah *random pair selection*. Metode ini bekerja dengan memilih 2 individu yang akan dijadikan sebagai induk secara acak atau random. Metode ini sangat sederhana untuk diaplikasikan pada individu yang jumlahnya banyak pada suatu populasi.

3.2.10 Cross Over

Cross Over (perkawinan silang) merupakan salah satu operator dalam algoritma genetika yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. *Cross over* dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Proses *cross over* dilakukan pada setiap individu dengan probabilitas *cross over* yang ditentukan yakni sebesar 0.95. Apabila nilai acak yang dihasilkan saat pembangkitan generasi kurang dari probabilitas *cross over* maka akan dilakukan proses *cross over*.

Pada tugas akhir ini, metode *cross over* yang digunakan adalah *cross over* satu titik. Pada metode satu titik, masing-masing kromosom orang tua dibagi menjadi dua bagian lalu saling di pindah silangkan dan menghasilkan 2 keturunan. Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan proses *cross over* satu titik pada algoritma genetika.



Gambar 3.10 Mekanisme crossover satu titik

3.2.11 Mutasi

Proses mutasi sama halnya seperti *cross over* yakni memiliki probabilitas atau kemungkinan terjadi yang telah ditentukan yakni sebesar 0.05. Pada tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah mutasi pengkodean biner. Mutasi pada pengkodean biner merupakan operasi yang sangat sederhana. Proses yang dilakukan adalah menginversi nilai bit pada posisi tertentu pada suatu kromosom. Berikut ini merupakan gambar yang menunjukkan proses mutasi dalam pengkodean biner.



Gambar 3.11 Mekanisme mutasi dalam pengkodean biner

3.2.12 Elitism

Pada setiap iterasi yang dilakukan akan diperoleh sejumlah fitness yang menggambarkan seberapa baik individu tersebut. Dimana pada tugas akhir ini fitness berupa nilai rugi daya nyata dengan konfigurasi kromosom tertentu. Untuk tiap generasi terdapat satu nilai fitness terbaik yang mewakili rugi daya nyata paling minimal. Nilai fitness yang terdapat dalam individu akan terus berubah pada tiap iterasinya. Oleh karena itu, maka diperlukan sebuah tempat atau wadah yang dapat menampung individu pada tiap iterasi dengan fitness terbaik. Individu yang memiliki nilai fitness paling baik dari sejumlah generasi yang ditentukan akan di masukkan ke wadah tersebut. Proses ini disebut dengan *elitism* dimana hasil akhirnya adalah solusi terbaik yang akan dicetak berupa lokasi dan daya keluaran dari DG dan kapasitor bank serta konfigurasi jaringan yang terbaik.

BAB 4

SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini, akan dibahas mengenai simulasi dan analisis terhadap sistem distribusi radial 33-bus standart IEEE dengan 6 kasus yang berbeda, yakni:

- Kasus A : basis sistem (*original*, tanpa optimasi)
- Kasus B : rekonfigurasi jaringan terhadap basis sistem.
- Kasus C : pemasangan DG terhadap basis sistem.
- Kasus D : pemasangan DG dan rekonfigurasi jaringan terhadap basis sistem.
- Kasus E : pemasangan DG dan kapasitor bank terhadap basis sistem.
- Kasus F : pemasangan DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan terhadap basis sistem.

Analisa aliran daya yang digunakan dalam simulasi menggunakan metode *backward – forward sweep*. Dalam melakukan simulasi terdapat parameter yang perlu diperhatikan yakni rugi daya aktif yang dihasilkan dan tegangan pada tiap busnya. Hasil simulasi dikatakan optimal saat rugi daya aktif yang diperoleh paling minimal dan pada tiap bus tegangan *line to neutral* (V_{LN}) berada pada *range* yang diizinkan yakni antara 0.95 p.u sampai 1.05 p.u dari sejumlah iterasi yang ditentukan.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perbandingan terhadap optimasi pada 6 kasus berbeda serta perbandingan hasil dari metode yang digunakan dalam menentukan batasan daya keluaran pada DG dan kapasitor bank (kasus C sampai dengan kasus F). Metode yang diterapkan ialah *rule of thumb* (ROT) [6] dan *max demand* (MD) [7]. Pada tahap simulasi ini DG yang digunakan sebanyak 3 unit dan kapasitor bank berjumlah 5 unit. Pada tugas akhir ini DG hanya berfungsi menyuplai daya aktif (P). Sedangkan, kapasitor berfungsi menyuplai daya reaktif (Q).

4.1 Simulasi Kasus A

Pada kasus A dilakukan simulasi aliran daya terhadap basis sistem yang datanya telah dilampirkan pada bab 3. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh saat sistem dioperasikan tanpa pengoptimalan menggunakan algoritma genetika.

Table 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus A

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|---------|--------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 364,36 | -31,86 | 12,2405 | 6,2398 |
| 2 | 3 | 324,12 | -32,65 | 51,7917 | 26,3791 |
| 3 | 4 | 233,18 | -35,38 | 19,9007 | 10,1352 |
| 4 | 5 | 221,51 | -35,48 | 18,6992 | 9,5238 |
| 5 | 6 | 216,11 | -35,71 | 38,2492 | 33,0185 |
| 6 | 7 | 101,13 | -25,6 | 1,9146 | 6,3288 |
| 7 | 8 | 82,47 | -25,36 | 4,8586 | 1,5989 |
| 8 | 9 | 63,71 | -24,98 | 4,1807 | 3,0036 |
| 9 | 10 | 58,4 | -25,57 | 3,5611 | 2,5241 |
| 10 | 11 | 53,07 | -26,27 | 0,5537 | 0,1831 |
| 11 | 12 | 48,51 | -25,55 | 0,8812 | 0,2914 |
| 12 | 13 | 42,62 | -24,88 | 2,6663 | 2,0978 |
| 13 | 14 | 36,69 | -23,96 | 0,7292 | 0,9598 |
| 14 | 15 | 24,58 | -18,89 | 0,357 | 0,3177 |
| 15 | 16 | 19,42 | -21,32 | 0,2815 | 0,2056 |
| 16 | 17 | 13,97 | -22,29 | 0,2516 | 0,336 |
| 17 | 18 | 8,52 | -24,46 | 0,0531 | 0,0417 |
| 2 | 19 | 31,33 | -24,02 | 0,161 | 0,1536 |
| 19 | 20 | 23,52 | -24,05 | 0,8322 | 0,7499 |
| 20 | 21 | 15,69 | -24,06 | 0,1008 | 0,1177 |
| 21 | 22 | 7,85 | -24,07 | 0,0436 | 0,0577 |
| 3 | 23 | 83,97 | -25,85 | 3,1816 | 2,174 |
| 23 | 24 | 75,68 | -25,51 | 5,1437 | 4,0617 |
| 24 | 25 | 37,91 | -25,53 | 1,2875 | 1,0074 |

Table 4.1 Hasil simulasi aliran daya kasus A (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|--------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 6 | 26 | 113,19 | -45,55 | 2,6009 | 1,3248 |
| 26 | 27 | 108,23 | -46,67 | 3,329 | 1,695 |
| 27 | 28 | 103,3 | -47,91 | 11,3009 | 9,9638 |
| 28 | 29 | 98,69 | -49,45 | 7,8334 | 6,8242 |
| 29 | 30 | 87,61 | -52,05 | 3,8957 | 1,9843 |
| 30 | 31 | 40,44 | -26,17 | 1,5936 | 1,575 |
| 31 | 32 | 26,2 | -27,02 | 0,2132 | 0,2485 |
| 32 | 33 | 6,21 | -33,31 | 0,0132 | 0,0205 |
| Total Rugi Daya | | | | 202,686 | 135,143 |

Hasil simulasi aliran daya pada sistem distribusi IEEE 33-bus tersebut menunjukkan nilai total rugi daya relatif besar. Total rugi daya aktif yang dihasilkan mencapai nilai 202,686 kW (15,52 % dari total daya aktif yang di suplai dari *substation*) dan total rugi daya reaktifnya mencapai 135,143 kVAR. Rugi daya terbesar terdapat pada saluran bus-1 hingga bus-5. Hal ini disebabkan karena arus yang melewati bus – bus tersebut cukup besar sehingga rugi dayanya pun besar. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar grafik rugi daya berikut.

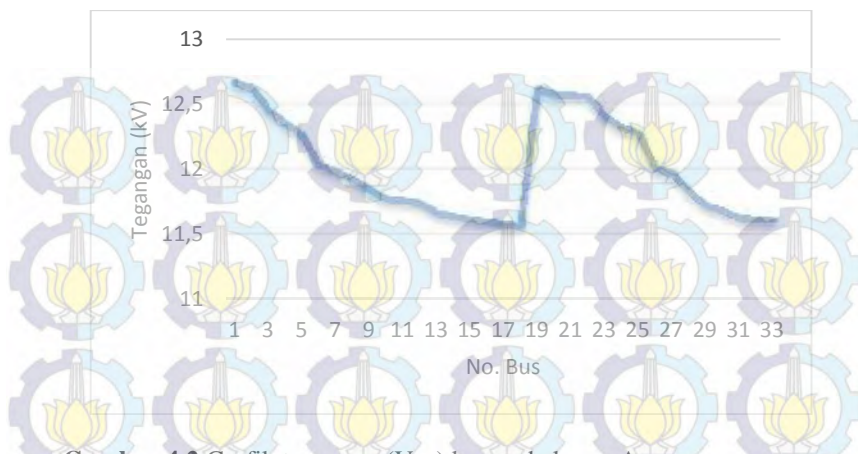
**Gambar 4.1** Grafik rugi daya aktif pada kasus A

Tabel 4.2 Tegangan (V_{LN}) pada kasus A

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,66 | 12 | 11,73418 | 23 | 12,39858 |
| 2 | 12,62243 | 13 | 11,65679 | 24 | 12,31412 |
| 3 | 12,44398 | 14 | 11,62809 | 25 | 12,27193 |
| 4 | 12,34924 | 15 | 11,61022 | 26 | 11,99820 |
| 5 | 12,25559 | 16 | 11,59290 | 27 | 11,96574 |
| 6 | 12,02263 | 17 | 11,56724 | 28 | 11,82092 |
| 7 | 11,97850 | 18 | 11,55955 | 29 | 11,71687 |
| 8 | 11,91717 | 19 | 12,61574 | 30 | 11,67184 |
| 9 | 11,83781 | 20 | 12,57045 | 31 | 11,61915 |
| 10 | 11,76419 | 21 | 12,56153 | 32 | 11,60756 |
| 11 | 11,75329 | 22 | 12,55346 | 33 | 11,60397 |

Tabel diatas menampilkan tegangan pada setiap bus yang tidak seluruhnya normal, karena terdapat beberapa bus yang mengalami *under voltage*. Hal itu terjadi akibat pembagian beban yang tidak merata pada sistem. Dapat dilihat pada gambar sistem distribusi 33-bus standart IEEE, bus yang mengalami *under voltage* merupakan cabang saluran yang sangat panjang. Semakin keujung, nilai tegangan pada bus pun menjadi semakin kecil. Akibat mengalami drop tegangan karena besarnya impedansi pada saluran. Hal itu terlihat pada bus 18 dan bus 33 yang merupakan bus paling ujung pada saluran.

Dengan dengan optimasi menggunakan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor bank pada sistem distribusi diharapkan dapat memperbaiki tegangan bus yang mengalami *under voltage* hingga berada pada tegangan yang diizinkan yakni antara 0,95 p.u sampai 1,05 p.u. Berikut ini merupakan gambar grafik dari profil tegangan pada basis sistem.



Gambar 4.2 Grafik tegangan (V_{LN}) bus pada kasus A

4.2 Simulasi Kasus B

Pada kasus B dilakukan rekonfigurasi jaringan terhadap sistem distribusi IEEE 33-bus. Rekonfigurasi jaringan merupakan metode yang dilakukan dengan cara mengubah kondisi switch pada sistem yakni dengan membuka atau menutup saluran. Sehingga diperoleh konfigurasi baru dari sistem dengan pembagian pembebanan yang lebih merata. Berikut ini merupakan hasil diperoleh setelah sistem mengalami rekonfigurasi menggunakan algoritma genetika.

Tabel 4.3 Hasil simulasi aliran daya kasus B

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|----------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 358,8944 | -31,9575 | 11,8758 | 6,0538 |
| 2 | 19 | 117,3901 | -25,8704 | 2,26 | 2,1566 |
| 19 | 20 | 109,5766 | -26,0049 | 18,061 | 16,2743 |
| 20 | 21 | 101,628 | -26,1408 | 4,2294 | 4,941 |
| 21 | 8 | 53,009 | -23,8129 | 5,6199 | 5,6199 |
| 8 | 9 | 34,711 | -21,9969 | 1,241 | 0,8916 |

Tabel 4.3 Hasil simulasi aliran daya kasus B (tabel lanjutan)

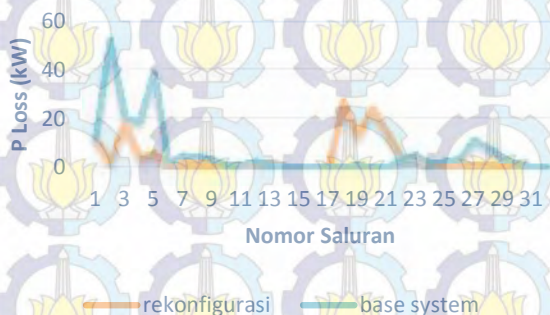
| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|----------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 9 | 15 | 29,5105 | -22,4954 | 1,7417 | 1,7417 |
| 15 | 16 | 24,6054 | -24,9647 | 0,4518 | 0,33 |
| 16 | 17 | 19,3867 | -26,483 | 0,4845 | 0,6468 |
| 17 | 18 | 14,1743 | -29,0934 | 0,1471 | 0,1153 |
| 18 | 33 | 6,0137 | -34,7125 | 0,0181 | 0,0181 |
| 21 | 22 | 40,7468 | -29,514 | 1,177 | 1,5562 |
| 22 | 12 | 32,7665 | -30,745 | 2,1473 | 2,1473 |
| 12 | 13 | 17,5757 | -33,2271 | 0,4535 | 0,3568 |
| 13 | 14 | 11,8703 | -34,3478 | 0,0763 | 0,1004 |
| 12 | 11 | 9,5417 | -26,0871 | 0,0341 | 0,0113 |
| 11 | 10 | 5,1893 | -19,0591 | 0,0053 | 0,0018 |
| 2 | 3 | 233,2701 | -35,0564 | 26,8266 | 13,6636 |
| 3 | 23 | 171,1484 | -38,5639 | 13,2164 | 9,0307 |
| 23 | 24 | 162,9699 | -39,0527 | 23,8502 | 18,8331 |
| 24 | 25 | 126,3009 | -43,1574 | 14,2929 | 11,1839 |
| 25 | 29 | 90,4122 | -50,6845 | 4,0872 | 4,0872 |
| 29 | 30 | 79,6927 | -53,6211 | 3,2231 | 1,6417 |
| 30 | 31 | 33,3987 | -25,0253 | 1,0869 | 1,0742 |
| 31 | 32 | 19,5183 | -25,2184 | 0,1183 | 0,1379 |
| 3 | 4 | 55,4359 | -25,7751 | 1,1248 | 0,5728 |
| 4 | 5 | 44,0083 | -23,7265 | 0,7381 | 0,3759 |
| 5 | 6 | 38,6288 | -23,3435 | 1,2221 | 1,055 |
| 6 | 7 | 18,0244 | -26,5708 | 0,0608 | 0,201 |
| 6 | 26 | 15,5678 | -21,2236 | 0,0492 | 0,0251 |

Tabel 4.3 Hasil simulasi aliran daya kasus B (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|----------|----------------|----------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 26 | 27 | 10,3324 | -20,5319 | 0,0303 | 0,0154 |
| 27 | 28 | 5,1003 | -18,418 | 0,0275 | 0,0243 |
| Total Rugi Daya | | | | 139,982 | 104,8847 |

Rekonfigurasi jaringan pada sistem distribusi 33-bus IEEE menunjukkan pengurangan total rugi daya yang cukup signifikan terhadap total rugi daya pada sistem sebelumnya. Sehingga daya yang harus disalurkan menjadi lebih efisien. Hal ini disebabkan karena perubahan konfigurasi dengan cara menutup tie switch dan membuka switch lainnya dalam satu *loop*-nya dengan mempertahankan bentuk radial sistem distribusi. Melalui pengoptimasian menggunakan GA diperoleh kombinasi terbaik yang menyebabkan penyaluran daya menjadi lebih baik sehingga rugi daya yang terjadi dapat diminimalisir.

Total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 139,982 kW dan rugi daya reaktif sebesar 104,8847 kVAR. Hal ini menunjukkan penurunan total rugi daya dari kasus sebelumnya. Terjadi penurunan total rugi daya aktif sebesar 30,936 % atau 62,704 kW. Berikut ini merupakan grafik perbandingan antara rugi daya aktif pada kasus A dan kasus B.

**Gambar 4.3** Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus A dan B

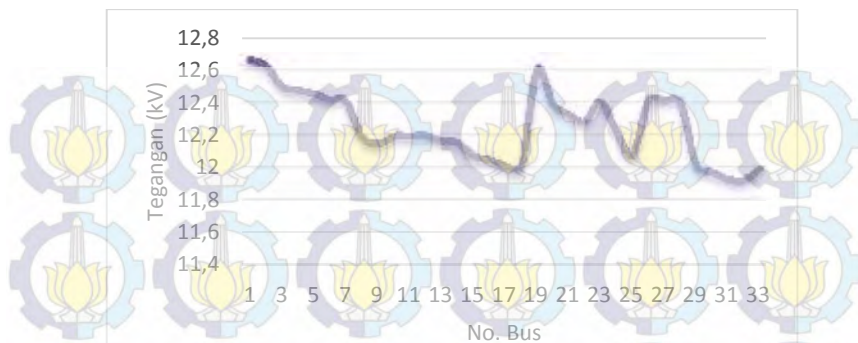
Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan hasil perbandingan rugi daya aktif yang terjadi pada sistem sebelum dan setelah dilakukan rekonfigurasi. Pada gambar terlihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif pada beberapa bus. Namun, terdapat pula kenaikan rugi daya aktif pada bus yang lain. Hal ini terjadi akibat perubahan konfigurasi jaringan pada sistem. Mengakibatkan arah aliran daya dari sumber menuju beban menjadi berubah sehingga terjadi perbedaan nilai rugi daya antara sebelum dan sesudah dilakukan rekonfigurasi.

Pada rekonfigurasi jaringan, nilai tegangan pada beberapa bus masih mengalami *undervoltage* walaupun rugi daya telah mengalami penurunan. Data profil tegangan pada kasus B dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Tegangan (V_{LN}) pada kasus B

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,66 | 12 | 12,1926 | 23 | 12,4019 |
| 2 | 12,623 | 13 | 12,1599 | 24 | 12,2155 |
| 3 | 12,4952 | 14 | 12,1499 | 25 | 12,0719 |
| 4 | 12,4724 | 15 | 12,0674 | 26 | 12,4102 |
| 5 | 12,4537 | 16 | 12,0452 | 27 | 12,407 |
| 6 | 12,4138 | 17 | 12,0082 | 28 | 12,4003 |
| 7 | 12,4058 | 18 | 11,9953 | 29 | 12,0083 |
| 8 | 12,1867 | 19 | 12,5977 | 30 | 11,9678 |
| 9 | 12,1441 | 20 | 12,3846 | 31 | 11,9246 |
| 10 | 12,1877 | 21 | 12,326 | 32 | 11,9161 |
| 11 | 12,1888 | 22 | 12,2822 | 33 | 11,9911 |

Pada tabel diatas terlihat bahwa masih ada bus yang mengalami *undervoltage* yakni pada bus 17,18 dan 29-33. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan rugi daya aktif menggunakan rekonfigurasi jaringan saja belum cukup efektif [1]. Dikarenakan masih ada bus yang tegangannya berada dibawah tegangan minimal yang diizinkan. Berikut ini merupakan grafik profil tegangan pada perbaikan rugi daya aktif menggunakan rekonfigurasi jaringan.



Gambar 4.4 Grafik tegangan (V_{LN}) pada kasus B

Hasil dari pengoptimasian rekonfigurasi jaringan menggunakan GA memperoleh konfigurasi jaringan baru dimana seluruh *tie switch* pada sistem tertutup. Untuk menjaga sistem distribusi tetap pada bentuk radial maka ada *sectionalizing switch* yang harus terbuka. Berikut ini merupakan data *switch* yang terbuka pada sistem distribusi 33-bus IEEE yang mengalami pengoptimasian menggunakan GA saat kasus rekonfigurasi jaringan saja.

Tabel 4.5 Hasil rekonfigurasi jaringan menggunakan GA

| Saluran yang terbuka | | |
|----------------------|-----------|--------|
| Bus 7 | menuju ke | Bus 8 |
| Bus 9 | menuju ke | Bus 10 |
| Bus 14 | menuju ke | Bus 15 |
| Bus 32 | menuju ke | Bus 33 |
| Bus 28 | menuju ke | Bus 29 |

4.3 Simulasi Kasus C

Pada kasus C dilakukan pemasangan DG terhadap sistem distribusi 33-bus standart IEEE. Pemasangan DG dioptimaskan dengan menggunakan algoritma genetika untuk memperoleh lokasi terbaik dan daya keluaran yang sesuai. Untuk memperoleh hasil yang optimal berupa rugi daya aktif yang paling minimal, terdapat parameter yang perlu diperhatikan yakni jumlah unit DG dan batasan daya keluarannya. DG yang digunakan pada kasus ini sebanyak 3 unit DG. Sedangkan, batasan

daya keluarannya DG dilakukan dengan 2 metode yang telah disebutkan diawal bab 4, yakni *rule of thumb* dan *max demand*. Sehingga, masing-masing metode memberikan batasan daya keluran pada DG sebesar 2,476 MW (*rule of thumb*) dan 3,715 MW (*max demand*). Berikut ini merupakan hasil simulasi menggunakan algoritma genetika untuk memperoleh rugi daya yang paling minimal.

Tabel 4.6 Hasil simulasi aliran daya kasus C “*rule of thumb*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|-----------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 216,9026 | -58,9149 | 4,3377 | 2,2112 |
| 2 | 3 | 184,4573 | -65,8409 | 16,7741 | 8,5469 |
| 3 | 4 | 142,2834 | -65,2604 | 7,4115 | 3,7736 |
| 4 | 5 | 132,6615 | -67,9047 | 6,7070 | 3,4160 |
| 5 | 6 | 128,7169 | -69,5075 | 13,5692 | 11,7136 |
| 6 | 7 | 50,8725 | -54,1631 | 0,4845 | 1,6015 |
| 7 | 8 | 35,9925 | -68,1090 | 0,9217 | 0,3046 |
| 8 | 9 | 25,7431 | -96,6513 | 0,6825 | 0,4904 |
| 9 | 10 | 25,3075 | -108,1821 | 0,6686 | 0,4739 |
| 10 | 11 | 25,9211 | -119,6404 | 0,1322 | 0,0437 |
| 11 | 12 | 26,0878 | -129,3480 | 0,2548 | 0,0883 |
| 12 | 13 | 27,6816 | -140,9344 | 1,1249 | 0,8850 |
| 13 | 14 | 30,2804 | -150,8716 | 0,4966 | 0,6537 |
| 14 | 15 | 37,3884 | -166,7975 | 0,8260 | 0,7353 |
| 15 | 16 | 18,2947 | -19,0607 | 0,2498 | 0,1824 |
| 16 | 17 | 13,1611 | -20,0270 | 0,2233 | 0,2981 |
| 17 | 18 | 8,0252 | -22,1906 | 0,0471 | 0,0370 |
| 2 | 19 | 31,2815 | -23,9844 | 0,1605 | 0,1531 |

Tabel 4.6 Hasil simulasi kasus C “*rule of thumb*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|------------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 19 | 20 | 23,4862 | -24,0059 | 0,8297 | 0,7477 |
| 20 | 21 | 15,6628 | -24,0158 | 0,1005 | 0,1174 |
| 21 | 22 | 7,8339 | -24,0259 | 0,0435 | 0,0575 |
| 3 | 23 | 36,9890 | -76,2933 | 0,6173 | 0,4219 |
| 23 | 24 | 32,0399 | -87,2034 | 0,9218 | 0,7279 |
| 24 | 25 | 36,0425 | -153,0320 | 1,1638 | 0,9186 |
| 6 | 26 | 78,4870 | -82,3915 | 1,2511 | 0,6370 |
| 26 | 27 | 76,0604 | -85,8580 | 1,6441 | 0,8371 |
| 27 | 28 | 73,9363 | -89,5449 | 5,7886 | 5,1047 |
| 28 | 29 | 72,5653 | -93,4348 | 4,2352 | 3,6892 |
| 29 | 30 | 68,5409 | -102,0834 | 2,3837 | 1,2144 |
| 30 | 31 | 37,3390 | -150,3335 | 1,3586 | 1,3425 |
| 31 | 32 | 24,9043 | -25,1912 | 0,1926 | 0,2245 |
| 32 | 33 | 5,9061 | -31,4786 | 0,0119 | 0,0185 |
| Total Rugi Daya | | | | 75,614571 | 51,667 |

Tabel 4.7 Hasil simulasi GA pada DG “*rule of thumb*”

| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
|---------------------|------------|--------------------|
| 1 | 15 | 0,722 |
| 2 | 25 | 0,825 |
| 3 | 31 | 0,825 |
| Total Daya Keluaran | | 2,372 |

Tabel 4.8 Hasil simulasi aliran daya kasus C “*max demand*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|-----------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 194,6169 | -72,4951 | 3,4921 | 1,7802 |
| 2 | 3 | 169,6037 | -82,5287 | 14,1814 | 7,2230 |
| 3 | 4 | 131,2880 | -79,4153 | 6,3086 | 3,2129 |
| 4 | 5 | 123,6402 | -83,2675 | 5,8258 | 2,9672 |
| 5 | 6 | 120,8499 | -85,4089 | 11,9612 | 10,3255 |
| 6 | 7 | 42,2470 | -78,5402 | 0,3341 | 1,1044 |
| 7 | 8 | 34,6164 | -103,1773 | 0,8561 | 0,2817 |
| 8 | 9 | 35,5438 | -132,8982 | 1,3013 | 0,9349 |
| 9 | 10 | 38,0563 | -139,8037 | 1,5120 | 1,0717 |
| 10 | 11 | 41,0611 | -145,7565 | 0,3315 | 0,1096 |
| 11 | 12 | 43,0068 | -151,0606 | 0,6925 | 0,2290 |
| 12 | 13 | 40,1189 | -22,7887 | 2,3628 | 1,8590 |
| 13 | 14 | 34,5382 | -21,8700 | 0,6461 | 0,8504 |
| 14 | 15 | 23,1307 | -16,7981 | 0,3162 | 0,2814 |
| 15 | 16 | 18,2761 | -19,2279 | 0,2493 | 0,1820 |
| 16 | 17 | 13,1477 | -20,1941 | 0,2228 | 0,2975 |
| 17 | 18 | 8,0171 | -22,3578 | 0,0470 | 0,0369 |
| 2 | 19 | 31,2692 | -23,9730 | 0,1604 | 0,1530 |
| 19 | 20 | 23,4769 | -23,9946 | 0,8291 | 0,7470 |
| 20 | 21 | 15,6566 | -24,0044 | 0,1004 | 0,1173 |
| 21 | 22 | 7,8308 | -24,0145 | 0,0435 | 0,0575 |
| 3 | 23 | 37,1510 | -104,3892 | 0,6227 | 0,4255 |
| 23 | 24 | 36,0335 | -117,1048 | 1,1660 | 0,9207 |
| 24 | 25 | 37,1036 | -24,8162 | 1,2335 | 0,9652 |

Tabel 4.8 Hasil simulasi kasus C “*max demand*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|-----------------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 6 | 26 | 77,6373 | -92,6408 | 1,2236 | 0,6232 |
| 26 | 27 | 76,1260 | -96,3713 | 1,6470 | 0,8386 |
| 27 | 28 | 74,9584 | -100,2397 | 5,9503 | 5,2462 |
| 28 | 29 | 74,5668 | -104,1462 | 4,4715 | 3,8955 |
| 29 | 30 | 72,6837 | -112,7929 | 2,6811 | 1,3656 |
| 30 | 31 | 38,2356 | -24,2781 | 1,4245 | 1,4079 |
| 31 | 32 | 24,7732 | -25,1281 | 0,1906 | 0,2221 |
| 32 | 33 | 5,8750 | -31,4155 | 0,0118 | 0,0183 |
| Total Rugi Daya | | | | 72,39656 | 49,7509 |

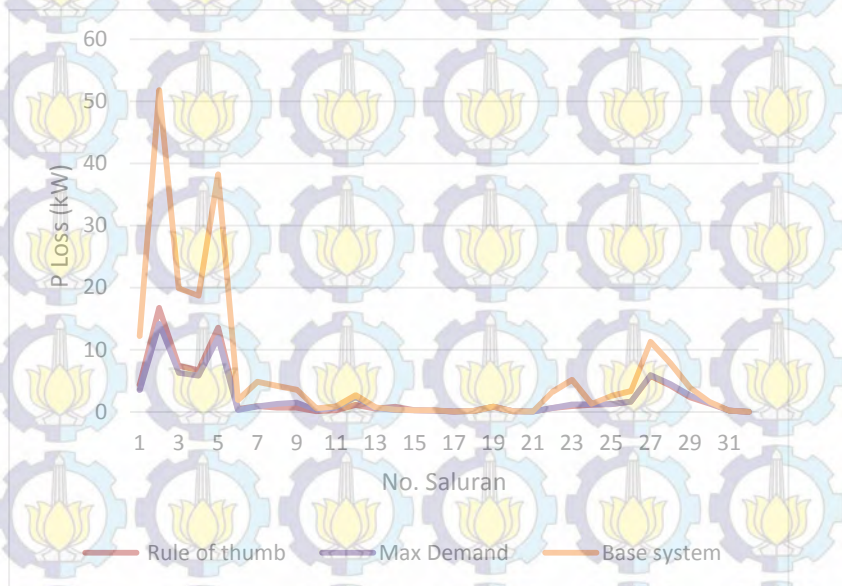
Tabel 4.9 Hasil simulasi GA pada DG “*max demand*”

| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
|---------------------|------------|--------------------|
| 1 | 12 | 0,99 |
| 2 | 24 | 1,05 |
| 3 | 30 | 1 |
| Total Daya keluaran | | 3,04 |

Simulasi penentuan lokasi dan daya keluaran DG pada sistem distribusi 33-bus IEEE merupakan pengaplikasian terhadap salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi rugi daya. DG merupakan pembangkit terdistribusi yang ditempatkan secara langsung pada beban didalam suatu sistem. Dengan menempatkan DG pada lokasi yang tepat dapat mengurangi rugi daya pada sistem.

Pada penempatan DG yang berjumlah 3 unit menggunakan metode *rule of thumb*, total daya keluaran DG sebesar 2,372 MW menghasilkan total rugi aktif sebesar 75,6 kW. Sedangkan, penempatan unit DG dengan jumlah yang sama yakni 3 unit menggunakan metode *max demand*, total daya keluaran DG cukup besar yakni 3,04 MW yang menghasilkan total rugi daya aktif yang memiliki sedikit selisih dari metode *rule of thumb*

yakni sebesar 72,39 kW. Jika melihat hasil yang diperoleh dari dua metode tersebut, maka hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode *rule of thumb* lebih efisien, karena hanya memiliki selisih hasil yang tidak terlalu signifikan yaitu hanya 3,21 kW dan berdasarkan pertimbangan total daya yang dikeluarkan oleh DG. Namun, secara umum pengaplikasian DG terhadap sistem mampu mengurangi rugi daya aktif sebesar 64,28 % pada metode *rule of thumb* dan 62,69 % pada metode *max demand*. Berikut ini merupakan grafik perbandingan antara hasil pengoptimasian rugi daya aktif dari kedua metode tersebut.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus C

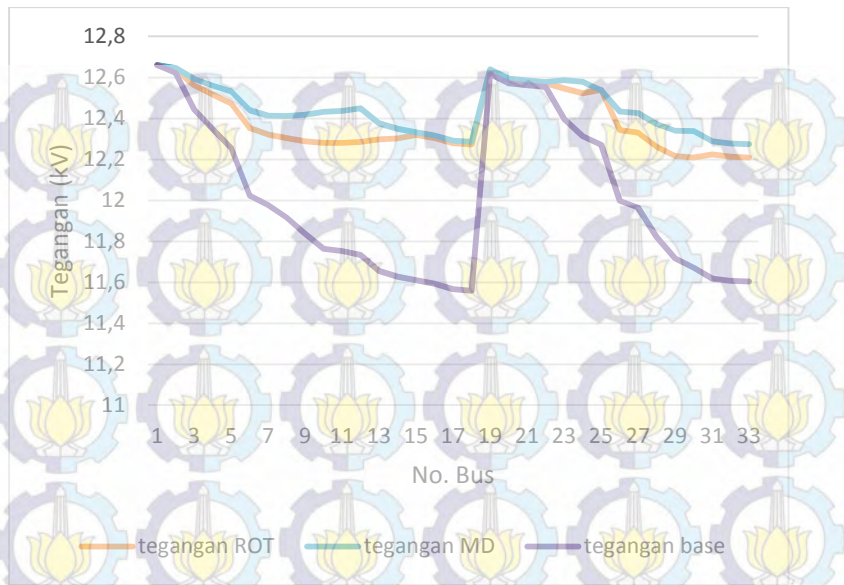
Penggunaan DG dalam sistem distribusi untuk mengurangi rugi daya telah memenuhi batasan atau *constraint* yang telah ditetapkan yakni tegangan yang diizinkan pada tiap bus harus berada didalam range 0,95 sampai 1,05 pu. Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan nilai dari profil tegangan di tiap busnya beserta grafik perbandingan tegangan terhadap tegangan awal pada kasus A.

Tabel 4.10 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus C “*rule of thumb*”

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,66 | 12 | 12,2849 | 23 | 12,5467 |
| 2 | 12,6409 | 13 | 12,2977 | 24 | 12,5229 |
| 3 | 12,5617 | 14 | 12,3023 | 25 | 12,5405 |
| 4 | 12,5161 | 15 | 12,3201 | 26 | 12,3425 |
| 5 | 12,4736 | 16 | 12,3038 | 27 | 12,3304 |
| 6 | 12,3524 | 17 | 12,2796 | 28 | 12,2626 |
| 7 | 12,3212 | 18 | 12,2723 | 29 | 12,2172 |
| 8 | 12,3041 | 19 | 12,6343 | 30 | 12,2084 |
| 9 | 12,2888 | 20 | 12,589 | 31 | 12,224 |
| 10 | 12,28 | 21 | 12,5801 | 32 | 12,213 |
| 11 | 12,2811 | 22 | 12,5721 | 33 | 12,2096 |

Tabel 4.11 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus C “*max demand*”

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,6600 | 12 | 12,4492 | 23 | 12,5863 |
| 2 | 12,6459 | 13 | 12,3764 | 24 | 12,5788 |
| 3 | 12,5931 | 14 | 12,3494 | 25 | 12,5376 |
| 4 | 12,5606 | 15 | 12,3325 | 26 | 12,4335 |
| 5 | 12,5318 | 16 | 12,3162 | 27 | 12,4255 |
| 6 | 12,4404 | 17 | 12,2921 | 28 | 12,3733 |
| 7 | 12,4133 | 18 | 12,2849 | 29 | 12,3398 |
| 8 | 12,4116 | 19 | 12,6392 | 30 | 12,3384 |
| 9 | 12,4184 | 20 | 12,5940 | 31 | 12,2886 |
| 10 | 12,4319 | 21 | 12,5851 | 32 | 12,2777 |
| 11 | 12,4373 | 22 | 12,5770 | 33 | 12,2743 |



Gambar 4.6 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus C

Pada gambar diatas terlihat bahwa pemasangan DG pada sistem distribusi dalam upaya untuk mengurangi rugi daya, tak satu pun bus pada sistem yang mengalami *under voltage*. Yang berbeda halnya pada kondisi awal sistem sebelum dilakukan optimasi.

4.4 Simulasi Kasus D

Pada kasus D, dilakukan pengoptimasian untuk mendapatkan rugi daya yang minimal pada sistem distribusi 33-bus standart IEEE menggunakan GA yang menerapkan rekonfigurasi jaringan dan penentuan lokasi DG secara simultan atau serentak. Berikut ini merupakan tabel yang berisikan data hasil simulasi GA terhadap sistem distribusi. Pada tabel dapat dilihat besarnya rugi daya pada tiap saluran serta nilai arus yang mengalir pada saluran sistem distribusi. Arus yang paling besar mengalir pada bus-bus awal dari percabangan sistem distribusi karena berada dekat dengan sumber.

Tabel 4.12 Hasil simulasi aliran daya kasus D “*rule of thumb*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|-----------|---------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 222,3391 | -56,3785 | 4,5579 | 2,3234 |
| 2 | 3 | 179,3700 | -64,5885 | 15,8616 | 8,0820 |
| 3 | 23 | 97,0057 | -68,3058 | 4,2458 | 2,9021 |
| 23 | 24 | 90,8311 | -71,6228 | 7,4088 | 5,8503 |
| 24 | 25 | 70,7455 | -94,3379 | 4,4839 | 3,5390 |
| 25 | 29 | 60,2308 | -63,2915 | 1,8139 | 1,8139 |
| 29 | 30 | 51,3089 | -70,3613 | 1,3358 | 0,6805 |
| 3 | 4 | 76,6555 | -63,7287 | 2,1512 | 1,0953 |
| 4 | 5 | 66,9926 | -68,7217 | 1,7104 | 0,8711 |
| 5 | 6 | 63,1553 | -72,0187 | 3,2667 | 2,8199 |
| 6 | 7 | 53,0659 | -89,8501 | 0,5272 | 1,7425 |
| 7 | 8 | 47,9850 | -109,5507 | 1,6383 | 0,5413 |
| 8 | 9 | 49,4152 | -130,7790 | 2,5149 | 1,8070 |
| 9 | 15 | 31,0498 | -90,2711 | 1,9282 | 1,9282 |
| 15 | 16 | 28,3620 | -121,6528 | 0,6002 | 0,4383 |
| 16 | 17 | 30,0770 | -131,1118 | 1,1660 | 1,5569 |
| 17 | 18 | 32,5383 | -139,3361 | 0,7750 | 0,6076 |
| 18 | 33 | 36,8864 | -150,3891 | 0,6803 | 0,6803 |
| 33 | 32 | 32,2259 | -23,2022 | 0,3542 | 0,5506 |
| 32 | 31 | 13,4025 | -22,9486 | 0,0558 | 0,0650 |
| 15 | 14 | 11,6658 | -32,2335 | 0,0804 | 0,0716 |
| 2 | 19 | 42,4173 | -25,6919 | 0,2951 | 0,2816 |
| 19 | 20 | 34,6243 | -26,0898 | 1,8033 | 1,6250 |
| 20 | 21 | 26,7916 | -26,6975 | 0,2939 | 0,3434 |
| 21 | 22 | 18,9545 | -27,7967 | 0,2547 | 0,3367 |

Tabel 4.12 Hasil simulasi kasus D “*rule of thumb*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|---------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 22 | 12 | 11,1210 | -30,4194 | 0,2474 | 0,2474 |
| 12 | 13 | 5,5628 | -30,4226 | 0,0454 | 0,0357 |
| 9 | 10 | 37,3041 | -172,5150 | 1,4528 | 1,0298 |
| 10 | 11 | 4,3381 | -32,3754 | 0,0037 | 0,0012 |
| 6 | 26 | 15,5136 | -20,5892 | 0,0489 | 0,0249 |
| 26 | 27 | 10,2965 | -19,8975 | 0,0301 | 0,0153 |
| 27 | 28 | 5,0825 | -17,7835 | 0,0274 | 0,0241 |
| Total Rugi Daya | | | | 61,523 | 43,93 |

Tabel 4.13 Hasil simulasi GA pada penentuan lokasi DG dan rekonfigurasi jaringan “*rule of thumb*”

| Penempatan DG | | |
|------------------------|------------------|--------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 10 | 0,619 |
| 2 | 25 | 0,825 |
| 3 | 33 | 0,722 |
| Total Daya Keluaran | | 2,166 |
| Rekonfigurasi Jaringan | | |
| Saluran | Switch Terbuka | |
| 1 | Bus 8 ke Bus 21 | |
| 2 | Bus 11 ke Bus 12 | |
| 3 | Bus 13 ke Bus 14 | |
| 4 | Bus 30 ke Bus 31 | |
| 5 | Bus 28 ke Bus 29 | |

Tabel 4.14 Hasil simulasi aliran daya kasus D “*max demand*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|-----------|---------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 201,5562 | -66,6624 | 3,7456 | 1,9094 |
| 2 | 3 | 163,4944 | -79,3950 | 13,1781 | 6,7147 |
| 3 | 23 | 90,5956 | -83,7165 | 3,7032 | 2,5312 |
| 23 | 24 | 86,1822 | -88,1982 | 6,6698 | 5,2668 |
| 24 | 25 | 77,2299 | -113,7907 | 5,3436 | 4,2175 |
| 25 | 29 | 59,8082 | -63,0350 | 1,7885 | 1,7885 |
| 29 | 30 | 50,9488 | -70,1052 | 1,3171 | 0,6710 |
| 3 | 4 | 68,7621 | -79,0996 | 1,7310 | 0,8813 |
| 4 | 5 | 61,3343 | -86,8185 | 1,4337 | 0,7302 |
| 5 | 6 | 58,9172 | -91,3596 | 2,8429 | 2,4542 |
| 6 | 7 | 55,9435 | -111,6926 | 0,5859 | 1,9366 |
| 7 | 8 | 45,2665 | -73,6463 | 1,4579 | 0,4817 |
| 8 | 9 | 35,8786 | -95,4939 | 1,3258 | 0,9526 |
| 9 | 15 | 35,2014 | -103,6175 | 2,4783 | 2,4783 |
| 15 | 16 | 37,2737 | -138,5495 | 1,0367 | 0,7570 |
| 16 | 17 | 40,2009 | -144,7283 | 2,0830 | 2,7813 |
| 17 | 18 | 43,5541 | -149,9820 | 1,3886 | 1,0887 |
| 18 | 33 | 37,9041 | -24,2900 | 0,7184 | 0,7184 |
| 33 | 32 | 32,1435 | -23,0127 | 0,3524 | 0,5478 |
| 32 | 31 | 13,3682 | -22,7590 | 0,0555 | 0,0647 |
| 15 | 14 | 17,2461 | -30,9511 | 0,1757 | 0,1564 |
| 14 | 13 | 5,6098 | -28,6397 | 0,0170 | 0,0224 |
| 2 | 19 | 46,2177 | -25,1298 | 0,3503 | 0,3343 |
| 19 | 20 | 38,4243 | -25,3758 | 2,2208 | 2,0013 |
| 20 | 21 | 30,5853 | -25,7237 | 0,3831 | 0,4475 |

Tabel 4.14 Hasil simulasi kasus D “*max demand*” (tabel lanjutan)

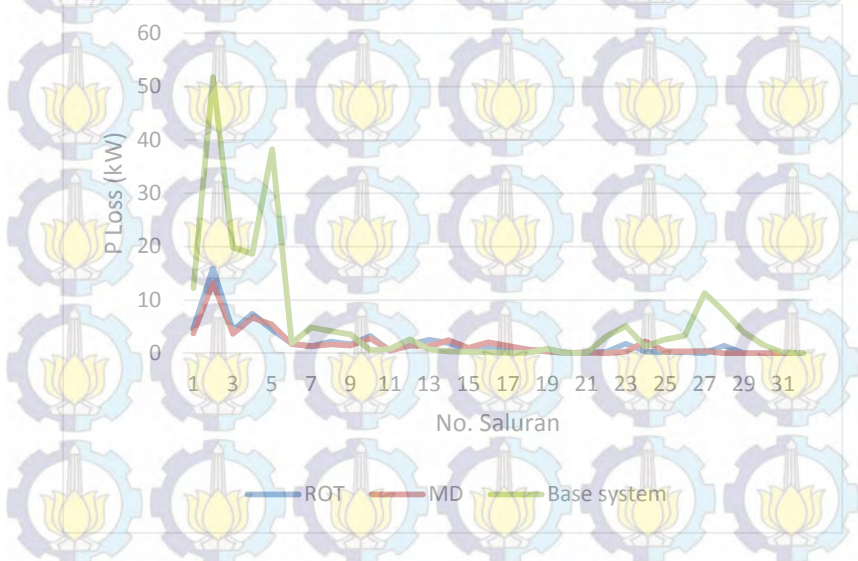
| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|----------|-------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 21 | 22 | 22,7370 | -26,3003 | 0,3665 | 0,4846 |
| 22 | 12 | 14,8780 | -27,4588 | 0,4427 | 0,4427 |
| 12 | 11 | 9,3234 | -25,6664 | 0,0325 | 0,0113 |
| 11 | 10 | 5,0705 | -18,6383 | 0,0051 | 0,0017 |
| 6 | 26 | 15,4368 | -20,4367 | 0,0484 | 0,0246 |
| 26 | 27 | 10,2455 | -19,7450 | 0,0298 | 0,0152 |
| 27 | 28 | 5,0574 | -17,6309 | 0,0271 | 0,0239 |
| Total Rugi Daya | | | | 55,3 | 43,93 |

Tabel 4.15 Hasil simulasi GA pada penentuan lokasi DG dan rekonfigurasi jaringan “*max demand*”

| Penempatan DG | | |
|------------------------|------------------|--------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 7 | 1,015 |
| 2 | 18 | 0,743 |
| 3 | 25 | 1,152 |
| Total Daya Keluaran | | 2,91 |
| Rekonfigurasi Jaringan | | |
| Saluran | Switch Terbuka | |
| 1 | Bus 8 ke Bus 21 | |
| 2 | Bus 9 ke Bus 10 | |
| 3 | Bus 12 ke Bus 13 | |
| 4 | Bus 30 ke Bus 31 | |
| 5 | Bus 28 ke Bus 29 | |

Pada simulasi keempat (kasus D) berupa penggabungan dua metode untuk memperoleh rugi daya yang minimal menggunakan bantuan GA dalam menentukan konfigurasi jaringan yang tepat dan lokasi bus yang perlu diinjeksikan daya aktif DG. Berdasarkan hasil yang telah

diperoleh didapatkan total rugi daya sebesar 55,3 kW (pada metode *max demand*) dan 61,523 kW (pada metode *rule of thumb*). Besarnya persentase pengurangan rugi daya sistem terhadap kondisi awal sebelum dilakukan optimasi ialah 72,7 % (*max demand*) dan 69,646 % (*rule of thumb*). Dari dua hasil optimasi yang dilakukan yang menggunakan metode untuk menentukan batasan keluaran DG, metode *max demand* lebih unggul dalam upaya pengoptimasian untuk memperoleh total rugi daya yang minimal. Hal itu disebabkan, dengan memberikan batasan keluaran DG sesuai nilai maksimum pembebanan sistem memungkinkan GA untuk tidak mengalami pembatasan terhadap pencarian nilai optimum dari fungsi objektif yang diinginkan. Dimana pada tugas akhir ini, fungsi objektif berupa rugi daya aktif yang paling minimal dari suatu sistem. Dengan menentukan konfigurasi jaringan yang terbaik sehingga diperoleh sistem dengan topologi baru yang mampu memberikan pembebanan secara merata pada tiap percabangannya serta penentuan lokasi dan daya keluaran yang optimal pada DG untuk dapat menyuplai kebutuhan daya aktif dari beban dan untuk mengurangi rugi daya sistem. Berikut ini merupakan grafik perbandingan antara hasil simulasi pada kasus D.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus D

Pada grafik diatas terlihat bahwa terjadi penurunan rugi daya aktif yang signifikan pada tiap busnya. Hanya bus pada percabangan awal yang memiliki nilai rugi daya aktif yang cukup besar. Hal ini terjadi karena bus-bus tersebut berada dekat sumber, sehingga arus yang melaluinya masih sangat besar.

Meninjau tegangan pada bus di sistem setelah dilakukan optimasi, dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini bahwa seluruh tegangan (V_{LN}) tiap bus telah berada pada yang batasan operasi yang diizinkan. Berikut merupakan tabel tegangan (V_{LN}) sistem beserta grafik perbandingan tegangan saat menggunakan metode *rule of thumb* dan *max demand* sebagai batasan terhadap keluaran DG.

Tabel 4.16 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus D “*rule of thumb*”

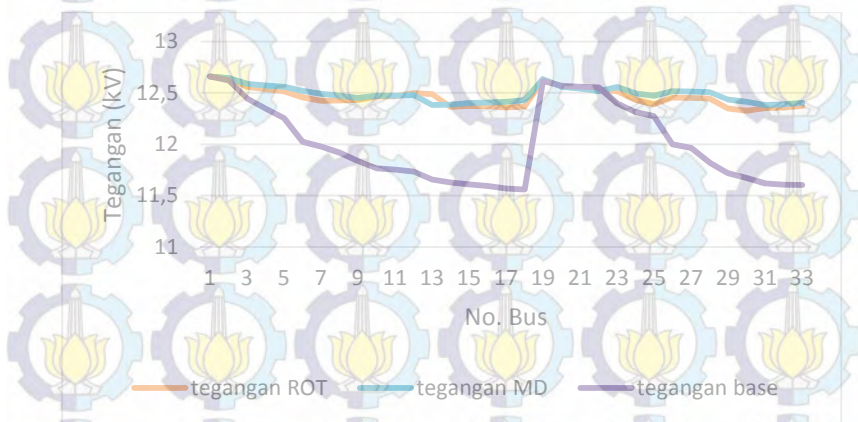
| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,6600 | 12 | 12,4973 | 23 | 12,5177 |
| 2 | 12,6400 | 13 | 12,4870 | 24 | 12,4315 |
| 3 | 12,5615 | 14 | 12,3628 | 25 | 12,3875 |
| 4 | 12,5364 | 15 | 12,3720 | 26 | 12,4536 |
| 5 | 12,5152 | 16 | 12,3706 | 27 | 12,4503 |
| 6 | 12,4571 | 17 | 12,3590 | 28 | 12,4437 |
| 7 | 12,4244 | 18 | 12,3659 | 29 | 12,3473 |
| 8 | 12,4256 | 19 | 12,6308 | 30 | 12,3264 |
| 9 | 12,4323 | 20 | 12,5634 | 31 | 12,3507 |
| 10 | 12,4680 | 21 | 12,5478 | 32 | 12,3565 |
| 11 | 12,4672 | 22 | 12,5277 | 33 | 12,3737 |

Tabel 4.17 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus D “*max demand*”

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 12,6600 | 12 | 12,4779 | 23 | 12,5571 |
| 2 | 12,6439 | 13 | 12,3823 | 24 | 12,4945 |
| 3 | 12,5890 | 14 | 12,3870 | 25 | 12,4741 |
| 4 | 12,5718 | 15 | 12,4004 | 26 | 12,5155 |

Tabel 4.17 Tegangan (V_{LN}) hasil simulasi kasus D “*max demand*” (tabel lanjutan)

| Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) | Bus | Tegangan (kV) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 5 | 12,5589 | 16 | 12,4089 | 27 | 12,5122 |
| 6 | 12,5190 | 17 | 12,4142 | 28 | 12,5057 |
| 7 | 12,4910 | 18 | 12,4308 | 29 | 12,4342 |
| 8 | 12,4722 | 19 | 12,6340 | 30 | 12,4136 |
| 9 | 12,4501 | 20 | 12,5595 | 31 | 12,3823 |
| 10 | 12,4732 | 21 | 12,5418 | 32 | 12,3881 |
| 11 | 12,4742 | 22 | 12,5180 | 33 | 12,4053 |



Gambar 4.8 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus D

Gambar 4.8 diatas menunjukkan grafik perbandingan tegangan antara tegangan sistem awal tanpa optimasi dengan tegangan hasil simulasi menggunakan GA yang dimana dalam menentukan batasan keluaran daya DG menggunakan metode tertentu. Gambar diatas memperlihatkan bahwa tegangan pada tiap seluruhnya telah berada pada *range* kerja yang diperbolehkan.

4.5 Simulasi Kasus E

Pada tahap ini, dilakukan pengoptimalan terhadap sistem distribusi radial 33-bus IEEE menggunakan DG dan kapasitor bank yang dilakukan secara serentak atau simultan. Pemasangan DG dan kapasitor pada sistem distribusi sama-sama dapat mengurangi rugi daya. Pemasangan keduanya secara bersamaan memungkinkan untuk diperoleh total rugi daya yang paling minimal. DG yang digunakan pada kasus ini adalah sebanyak 3 unit dan kapasitor bank 5 unit. DG bekerja dengan menyuplai daya untuk kebutuhan beban berupa daya aktif. Sedangkan kapasitor bank sebaliknya, yakni menyuplai daya reaktif. Berikut ini merupakan hasil simulasi pemasangan DG dan kapasitor bank menggunakan algoritma genetika.

Tabel 4.18 Hasil simulasi aliran daya kasus E “*rule of thumb*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|-----------|--------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 122,4860 | -28,8082 | 1,3833 | 0,7051 |
| 2 | 3 | 82,1454 | -30,3808 | 3,3267 | 1,6951 |
| 3 | 4 | 51,1515 | -2,7955 | 0,9579 | 0,4877 |
| 4 | 5 | 41,7361 | 5,3168 | 0,6638 | 0,3381 |
| 5 | 6 | 37,3142 | 9,6582 | 1,1403 | 0,9844 |
| 6 | 7 | 21,6757 | -21,4063 | 0,0880 | 0,2907 |
| 7 | 8 | 4,2620 | 1,8857 | 0,0129 | 0,0043 |
| 8 | 9 | 14,2551 | 144,9088 | 0,2093 | 0,1504 |
| 9 | 10 | 19,6117 | -147,4569 | 0,4015 | 0,2846 |
| 10 | 11 | 23,1070 | -157,2280 | 0,1050 | 0,0348 |
| 11 | 12 | 25,7290 | -165,2593 | 0,2478 | 0,0859 |
| 12 | 13 | 29,8861 | -172,7873 | 1,3112 | 1,0315 |
| 13 | 14 | 34,4251 | -178,3659 | 0,6418 | 0,8448 |
| 14 | 15 | 22,1287 | 14,4592 | 0,2894 | 0,2576 |
| 15 | 16 | 17,8247 | 20,7281 | 0,2371 | 0,1731 |

Tabel 4.18 Hasil simulasi kasus E “*rule of thumb*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|--------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 15 | 16 | 17,8247 | 20,7281 | 0,2371 | 0,1731 |
| 16 | 17 | 12,8417 | -21,8250 | 0,2126 | 0,2838 |
| 17 | 18 | 7,8304 | -23,9885 | 0,0449 | 0,0352 |
| 2 | 19 | 31,2656 | -24,0363 | 0,1603 | 0,1530 |
| 19 | 20 | 23,4742 | -24,0578 | 0,8289 | 0,7469 |
| 20 | 21 | 15,6548 | -24,0676 | 0,1004 | 0,1172 |
| 21 | 22 | 7,8299 | -24,0777 | 0,0435 | 0,0575 |
| 3 | 23 | 38,0365 | -70,6030 | 0,6528 | 0,4462 |
| 23 | 24 | 32,3798 | -80,2630 | 0,9415 | 0,7435 |
| 24 | 25 | 37,1665 | -25,3231 | 1,2375 | 0,9767 |
| 6 | 26 | 19,7230 | 53,1552 | 0,0790 | 0,0402 |
| 26 | 27 | 19,1422 | 68,3867 | 0,1041 | 0,0530 |
| 27 | 28 | 6,0520 | -69,0817 | 0,0388 | 0,0342 |
| 28 | 29 | 4,8126 | -122,9743 | 0,0186 | 0,0162 |
| 29 | 30 | 12,2749 | 172,5857 | 0,0765 | 0,0389 |
| 30 | 31 | 29,4229 | 162,7222 | 0,8436 | 0,8336 |
| 31 | 32 | 24,2062 | -27,5512 | 0,1819 | 0,2121 |
| 32 | 33 | 5,7405 | -33,8384 | 0,0112 | 0,0175 |
| Total Rugi Daya | | | | 16,59 | 12,17 |

Tabel 4.19 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “*rule of thumb*”

| Penempatan DG | | |
|---------------|------------|--------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 14 | 0,8253 |
| 2 | 24 | 0,7737 |
| 3 | 31 | 0,7737 |

Tabel 4.19 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “*rule of thumb*” (tabel lanjutan)

| Total Daya Keluaran = | | 2,37 |
|----------------------------------|------------|----------------------|
| Penempatan kapasitor bank | | |
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MVAR) |
| 1 | 9 | 0,255 |
| 2 | 16 | 0,16 |
| 3 | 27 | 0,319 |
| 4 | 30 | 0,511 |
| 5 | 31 | 0,319 |
| Total Daya Keluaran = | | 1,564 |

Tabel 4.20 Hasil simulasi aliran daya kasus E “*max demand*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|---------|-----------|--------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 56,9001 | -25,8628 | 0,2985 | 0,1522 |
| 2 | 3 | 16,4888 | -26,4718 | 0,1340 | 0,0683 |
| 3 | 4 | 24,7429 | 39,5300 | 0,2241 | 0,1141 |
| 4 | 5 | 24,0789 | 66,5145 | 0,2210 | 0,1125 |
| 5 | 6 | 24,9415 | 78,7794 | 0,5095 | 0,4398 |
| 6 | 7 | 44,8504 | 83,0472 | 0,3766 | 1,2448 |
| 7 | 8 | 19,9680 | -122,0903 | 0,2848 | 0,0937 |
| 8 | 9 | 27,8389 | -161,1734 | 0,7983 | 0,5735 |
| 9 | 10 | 31,9407 | -166,5943 | 1,0651 | 0,7550 |
| 10 | 11 | 44,3369 | -7,4151 | 0,3865 | 0,1278 |
| 11 | 12 | 40,5663 | -4,7638 | 0,6161 | 0,2037 |
| 12 | 13 | 39,2862 | -24,6064 | 2,2657 | 1,7826 |
| 13 | 14 | 33,8205 | -23,6868 | 0,6195 | 0,8154 |
| 14 | 15 | 22,6490 | -18,6131 | 0,3032 | 0,2698 |
| 15 | 16 | 17,8950 | -21,0424 | 0,2390 | 0,1745 |

Tabel 4.20 Hasil simulasi kasus E “*max demand*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|---------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 16 | 17 | 12,8731 | -22,0079 | 0,2136 | 0,2852 |
| 17 | 18 | 7,8496 | -24,1714 | 0,0451 | 0,0354 |
| 2 | 19 | 31,2487 | -24,0385 | 0,1601 | 0,1528 |
| 19 | 20 | 23,4615 | -24,0600 | 0,8280 | 0,7461 |
| 20 | 21 | 15,6463 | -24,0698 | 0,1002 | 0,1171 |
| 21 | 22 | 7,8257 | -24,0799 | 0,0434 | 0,0574 |
| 3 | 23 | 22,9850 | -119,8530 | 0,2384 | 0,1629 |
| 23 | 24 | 36,8184 | -120,2494 | 1,2173 | 0,9613 |
| 24 | 25 | 36,9278 | -25,2599 | 1,2218 | 0,9561 |
| 6 | 26 | 19,2083 | -106,0534 | 0,0749 | 0,0382 |
| 26 | 27 | 19,2918 | -121,3859 | 0,1058 | 0,0539 |
| 27 | 28 | 20,6943 | -135,5917 | 0,4535 | 0,3999 |
| 28 | 29 | 23,4001 | -146,5465 | 0,4404 | 0,3836 |
| 29 | 30 | 29,9343 | -165,7132 | 0,4548 | 0,2316 |
| 30 | 31 | 50,9416 | 151,7282 | 2,5286 | 2,4990 |
| 31 | 32 | 23,8879 | -27,1980 | 0,1772 | 0,2065 |
| 32 | 33 | 5,6649 | -33,4850 | 0,0109 | 0,0170 |
| Total Rugi Daya | | | | 16,655 | 14,23 |

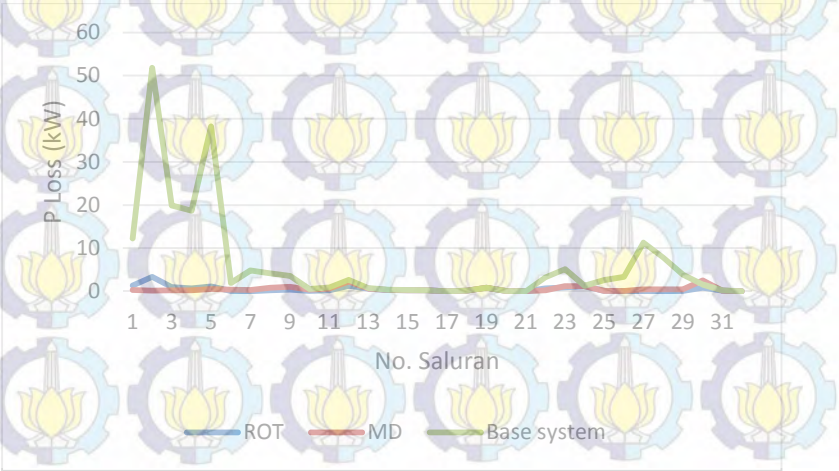
Tabel 4.21 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “*max demand*”

| Penempatan DG | | |
|---------------|------------|--------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 10 | 1,015 |
| 2 | 24 | 1,077 |
| 3 | 31 | 0,99 |

Tabel 4.21 Hasil simulasi GA pada DG dan kapasitor bank “*max demand*” (tabel lanjutan)

| | | |
|---------------------------|------------|----------------------|
| Total Daya Keluaran = | | 3,082 |
| Penempatan kapasitor bank | | |
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MVAR) |
| 1 | 7 | 0,88 |
| 2 | 12 | 0,2 |
| 3 | 23 | 0,2 |
| 4 | 30 | 0,2 |
| 5 | 31 | 0,52 |
| Total Daya Keluaran = | | 2 |

Pada kasus E, terjadi penurunan rugi daya yang sangat signifikan. Berdasarkan data pada tabel, persentase pengurangan rugi daya sebesar 91,81 % (pada *rule of thumb*) dan 91,78 % (pada *max demand*). Dengan nilai rugi masing-masingnya 16,59 kW dan 16,65 kW. Hasil dari *rule of thumb* sedikit lebih unggul dibandingkan *max demand* dengan selisih hasil sebesar 0,06 kW. Berikut ini merupakan gambar grafik perbandingan rugi daya aktif pada kedua metode tersebut terhadap rugi daya aktif awal sisitem distribusi 33-bus IEEE.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan rugi daya aktif kasus E

Gambar 4.9 menunjukkan perbaikan rugi daya yang sangat signifikan terhadap rugi daya awal yang dimiliki sistem. Pada hasil dari *rule of thumb* terdapat sedikit rugi yang lebih besar pada awal percabangan saluran dibanding hasil dari *max demand*. Namun secara keseluruhan, hasil total penurunan rugi daya *rule of thumb* masih sedikit lebih baik. Jika melihat nilai total daya keluran pada kedua metode tersebut maka hasil yang dimiliki oleh *rule of thumb* lebih efisien. Dengan perolehan nilai total rugi daya yang hampir sama namun terdapat selisih yang besar pada nilai daya keluran DG maupun kapasitor.

Dari segi tegangan, hasil yang diperoleh pada kedua metode tersebut menampilkan bahwa tegangan telah berada dalam operasi tegangan yang diizinkan, yakni antara 0,95 sampai dengan 1,05 pu. Berikut ini merupakan tabel perbandingan tegangan beserta grafiknya.

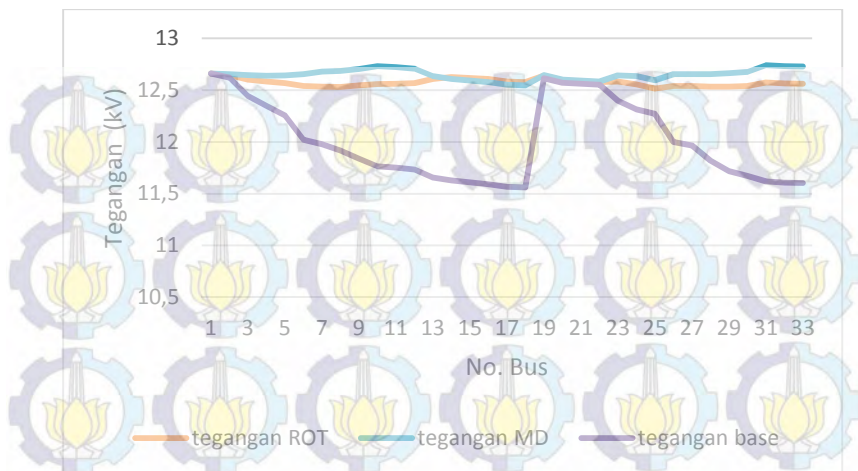
Tabel 4.22 Perbandingan tegangan (V_{LN}) hasil simulasi pada kasus E

| No. Bus | ROT (kV) | MD (kV) | Basis (kV) |
|---------|----------|---------|------------|
| 1 | 12,66 | 12,66 | 12,66 |
| 2 | 12,6473 | 12,6541 | 12,62243 |
| 3 | 12,602 | 12,645 | 12,44398 |
| 4 | 12,5828 | 12,6409 | 12,34924 |
| 5 | 12,5677 | 12,6416 | 12,25559 |
| 6 | 12,5421 | 12,655 | 12,02263 |
| 7 | 12,5335 | 12,6815 | 11,9785 |
| 8 | 12,5305 | 12,6851 | 11,91717 |
| 9 | 12,5485 | 12,7055 | 11,83781 |
| 10 | 12,5579 | 12,7325 | 11,76419 |
| 11 | 12,5615 | 12,7235 | 11,75329 |
| 12 | 12,57 | 12,7079 | 11,73418 |
| 13 | 12,6091 | 12,6366 | 11,65679 |
| 14 | 12,6271 | 12,6101 | 11,62809 |

Tabel 4.22 Perbandingan tegangan (V_{LN}) hasil simulasi pada kasus E (tabel lanjutan)

| No. Bus | ROT (kV) | MD (kV) | Basis (kV) |
|---------|----------|---------|------------|
| 15 | 12,6173 | 12,5937 | 11,61022 |
| 16 | 12,6083 | 12,5777 | 11,5929 |
| 17 | 12,5847 | 12,5541 | 11,56724 |
| 18 | 12,5777 | 12,547 | 11,55955 |
| 19 | 12,6407 | 12,6474 | 12,61574 |
| 20 | 12,5955 | 12,6023 | 12,57045 |
| 21 | 12,5866 | 12,5934 | 12,56153 |
| 22 | 12,5785 | 12,5853 | 12,55346 |
| 23 | 12,5852 | 12,644 | 12,39858 |
| 24 | 12,5577 | 12,6382 | 12,31412 |
| 25 | 12,5163 | 12,5972 | 12,27193 |
| 26 | 12,5413 | 12,6541 | 11,9982 |
| 27 | 12,5419 | 12,6546 | 11,96574 |
| 28 | 12,5343 | 12,6567 | 11,82092 |
| 29 | 12,5336 | 12,6633 | 11,71687 |
| 30 | 12,5402 | 12,6762 | 11,67184 |
| 31 | 12,5759 | 12,7432 | 11,61915 |
| 32 | 12,5652 | 12,7326 | 11,60756 |
| 33 | 12,5619 | 12,7294 | 11,60397 |

Tabel tegangan diatas menunjukan bahwa tegangan pada pengoptimasian menggunakan DG dan kapasitor bank telah berada pada tegangan kerja yang diperbolehkan. Namun, pada hasil tegangan menggunakan metode *max demand* terdapat beberapa bus yang nilai tegangannya lebih dari 1 pu (namun dalam batas yang diizinkan). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar grafik perbandingan tegangan berikut ini.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus E

4.6 Simulasi Kasus F

Pada kasus F, dilakukan pengoptimasian menggunakan ketiga metode yang ada untuk mengurangi rugi daya pada sistem distribusi yakni dengan pemasangan DG dan kapasitor bank serta konfigurasi jaringan. Diharapkan, melalui rekonfigurasi jaringan sistem dapat melakukan pembebanan secara merata pada setiap percabangan yang dimilikinya. Kemudian, pemasangan DG dan kapasitor bank dilakukan untuk dapat memenuhi kebutuhan daya aktif dan reaktif pada sistem. Hal tersebut dilakukan dengan penempatan secara langsung DG dan kapasitor bank terhadap bus beban. Pada kasus ini, DG yang digunakan sebanyak 3 unit dan kapasitor bank 5 unit dengan total nilai daya keluaran yang diatur menggunakan metode *rule of thumb* dan *max demand*. Ketiga metode digunakan dalam upaya untuk mengurangi rugi daya diterapkan menggunakan bantuan GA. GA merupakan suatu metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan yang bersifat optimasi. Hasil dari GA merupakan solusi dari permasalahan yang dihadapi, yakni rugi daya aktif yang paling minimal melalui perubahan konfigurasi jaringan, penempatan DG dan kapasitor bank pada lokasi yang tepat tentunya dengan daya keluaran yang sesuai untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Berikut ini merupakan tabel yang berisikan data hasil simulasi kasus F menggunakan GA.

Tabel 4.23 Hasil simulasi menggunakan GA pada kasus F “*rule of thumb*”

| Penempatan DG | | |
|----------------------------------|------------------|----------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 7 | 0,825 |
| 2 | 29 | 0,825 |
| 3 | 33 | 0,825 |
| Total Daya Keluaran = | | 2,475 |
| Penempatan kapasitor bank | | |
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MVAR) |
| 1 | 29 | 0,3066 |
| 2 | 30 | 0,3066 |
| 3 | 18 | 0,2874 |
| 4 | 15 | 0,2108 |
| 5 | 30 | 0,3066 |
| Total Daya Keluaran = | | 1,418 |
| Rekonfigurasi Jaringan | | |
| Saluran | Switch Terbuka | |
| 1 | Bus 8 ke Bus 21 | |
| 2 | Bus 10 ke Bus 11 | |
| 3 | Bus 13 ke Bus 14 | |
| 4 | Bus 30 ke Bus 31 | |
| 5 | Bus 28 ke Bus 29 | |

Tabel 4.24 Hasil simulasi menggunakan GA pada kasus F “*max demand*”

| Penempatan DG | | |
|-----------------------|------------|--------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MW) |
| 1 | 7 | 0,8916 |
| 2 | 15 | 0,9287 |
| 3 | 25 | 1,1764 |
| Total Daya Keluaran = | | 2,9967 |

Tabel 4.24 Hasil simulasi menggunakan GA pada kasus F “*max demand*”
(tabel lanjutan)

| Penempatan kapasitor bank | | |
|---------------------------|------------------|----------------------|
| Unit DG | Lokasi Bus | Daya keluaran (MVAR) |
| 1 | 30 | 0,4048 |
| 2 | 18 | 0,3680 |
| 3 | 6 | 0,4370 |
| 4 | 24 | 0,4186 |
| 5 | 30 | 0,3680 |
| Total Daya Keluaran = | | 1,9964 |
| Rekonfigurasi Jaringan | | |
| Saluran | Switch Terbuka | |
| 1 | Bus 8 ke Bus 21 | |
| 2 | Bus 10 ke Bus 11 | |
| 3 | Bus 9 ke Bus 15 | |
| 4 | Bus 31 ke Bus 32 | |
| 5 | Bus 28 ke Bus 29 | |

Tabel 4.25 Hasil simulasi aliran daya kasus F “*rule of thumb*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|----------|----------|--------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 149,7517 | -28,2313 | 2,0676 | 1,0540 |
| 2 | 3 | 93,8155 | -28,8193 | 4,3391 | 2,2109 |
| 3 | 23 | 37,5427 | -25,3339 | 0,6359 | 0,4347 |
| 23 | 24 | 29,3758 | -24,2958 | 0,7749 | 0,6119 |
| 24 | 25 | 7,7527 | 149,9031 | 0,0538 | 0,0425 |
| 25 | 29 | 44,8033 | 153,7051 | 1,0037 | 1,0037 |
| 29 | 30 | 15,9446 | 3,7642 | 0,1290 | 0,0657 |
| 3 | 4 | 48,6386 | -32,2916 | 0,8661 | 0,4410 |
| 4 | 5 | 37,1719 | -31,8654 | 0,5266 | 0,2682 |

Tabel 4.25 Hasil simulasi kasus F “*rule of thumb*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|---------|---------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 5 | 6 | 31,8566 | -32,7570 | 0,8312 | 0,7175 |
| 6 | 7 | 41,7951 | -13,9058 | 0,3270 | 1,0809 |
| 7 | 8 | 24,6791 | -4,6972 | 0,4333 | 0,1432 |
| 8 | 9 | 10,4993 | 34,9836 | 0,1135 | 0,0816 |
| 9 | 15 | 9,3091 | 96,1664 | 0,1733 | 0,1733 |
| 15 | 16 | 15,4448 | -178,7693 | 0,1780 | 0,1300 |
| 16 | 17 | 20,2688 | 176,3676 | 0,5295 | 0,7070 |
| 17 | 18 | 25,1740 | 173,4223 | 0,4639 | 0,3637 |
| 18 | 33 | 36,2981 | -152,4209 | 0,6588 | 0,6588 |
| 33 | 32 | 31,7101 | -25,2294 | 0,3430 | 0,5331 |
| 32 | 31 | 13,1878 | -24,9755 | 0,0540 | 0,0629 |
| 15 | 14 | 11,5395 | -33,9537 | 0,0787 | 0,0700 |
| 2 | 19 | 46,7497 | -26,5126 | 0,3584 | 0,3420 |
| 19 | 20 | 38,9636 | -27,0201 | 2,2836 | 2,0579 |
| 20 | 21 | 31,1341 | -27,7633 | 0,3969 | 0,4637 |
| 21 | 22 | 23,3016 | -28,9967 | 0,3849 | 0,5089 |
| 22 | 12 | 15,4743 | -31,4580 | 0,4789 | 0,4789 |
| 12 | 13 | 5,5738 | -30,5010 | 0,0456 | 0,0359 |
| 12 | 11 | 4,3368 | -33,9261 | 0,0070 | 0,0024 |
| 9 | 10 | 5,0676 | -18,6261 | 0,0268 | 0,0190 |
| 6 | 26 | 15,4322 | -21,2552 | 0,0484 | 0,0246 |
| 26 | 27 | 10,2424 | -20,5634 | 0,0298 | 0,0152 |
| 27 | 28 | 5,0558 | -18,4494 | 0,0271 | 0,0239 |
| Total Rugi Daya | | | | 14,0372 | 14,8270 |

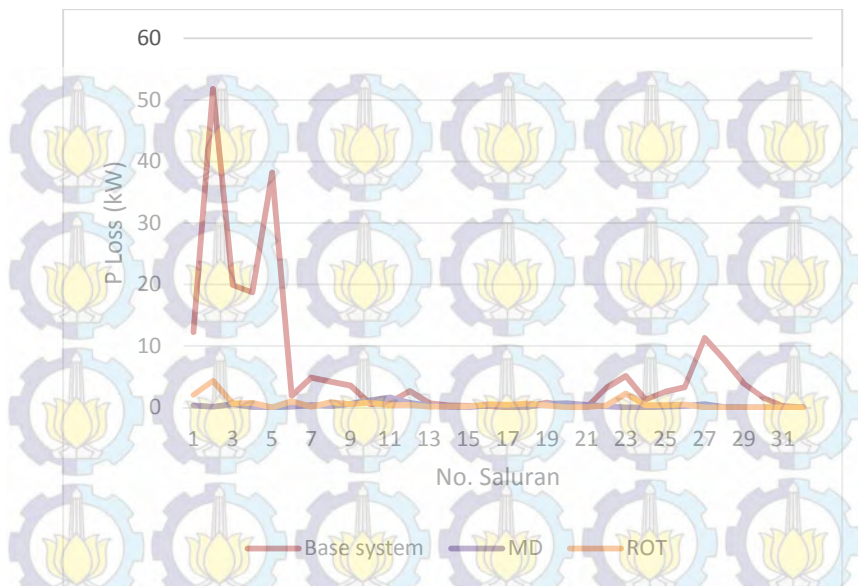
Tabel 4.26 Hasil simulasi aliran daya kasus F “*max demand*”

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-------------|---------------|---------|-----------|--------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 1 | 2 | 62,6377 | -23,2617 | 0,3617 | 0,1844 |
| 2 | 19 | 26,4726 | -38,4289 | 0,1149 | 0,1097 |
| 19 | 20 | 19,0318 | -44,2938 | 0,5448 | 0,4910 |
| 20 | 21 | 12,0181 | -57,3464 | 0,0591 | 0,0691 |
| 21 | 22 | 6,9764 | -95,4113 | 0,0345 | 0,0456 |
| 22 | 12 | 8,6695 | -154,1972 | 0,1503 | 0,1503 |
| 12 | 13 | 16,2065 | 175,1728 | 0,3856 | 0,3033 |
| 13 | 14 | 21,3118 | 168,8602 | 0,2460 | 0,3238 |
| 14 | 15 | 32,1593 | 161,1316 | 0,6111 | 0,5440 |
| 15 | 16 | 39,8632 | 16,8663 | 1,1858 | 0,8659 |
| 16 | 17 | 35,8875 | 21,4652 | 1,6600 | 2,2165 |
| 17 | 18 | 32,2145 | 27,2091 | 0,7597 | 0,5956 |
| 18 | 33 | 24,1618 | -27,7309 | 0,2919 | 0,2919 |
| 33 | 32 | 18,4813 | -25,7944 | 0,1165 | 0,1811 |
| 12 | 11 | 4,2917 | -33,5504 | 0,0069 | 0,0024 |
| 2 | 3 | 29,1213 | -6,9857 | 0,4181 | 0,2130 |
| 3 | 23 | 17,8625 | -0,1180 | 0,1440 | 0,0984 |
| 23 | 24 | 11,4362 | 20,0906 | 0,1174 | 0,0927 |
| 24 | 25 | 26,2050 | -149,4265 | 0,6152 | 0,4856 |
| 25 | 29 | 37,3872 | 3,8743 | 0,6989 | 0,6989 |
| 29 | 30 | 28,9491 | 16,2181 | 0,4252 | 0,2166 |
| 30 | 31 | 13,1499 | -25,1621 | 0,1685 | 0,1665 |
| 3 | 4 | 3,9374 | -4,9051 | 0,0057 | 0,0029 |
| 4 | 5 | 8,1859 | 132,8754 | 0,0255 | 0,0130 |

Tabel 4.26 Hasil simulasi kasus F “*max demand*” (tabel lanjutan)

| Sending Bus | Receiving Bus | Current | | Losses | |
|-----------------|---------------|---------|-----------|----------------|--------|
| | | Amp | Degree | kW | kVAR |
| 5 | 6 | 13,2870 | 140,9254 | 0,1446 | 0,1248 |
| 6 | 7 | 34,9413 | -147,0010 | 0,2286 | 0,7555 |
| 7 | 8 | 27,6728 | -23,5609 | 0,5449 | 0,1800 |
| 8 | 9 | 10,0291 | -18,3824 | 0,1036 | 0,0744 |
| 9 | 10 | 5,0158 | -18,3867 | 0,0263 | 0,0186 |
| 6 | 26 | 15,2712 | -21,2898 | 0,0474 | 0,0241 |
| 26 | 27 | 10,1355 | -20,5980 | 0,0292 | 0,0149 |
| 27 | 28 | 5,0031 | -18,4838 | 0,0265 | 0,0234 |
| Total Rugi Daya | | | | 10,2984 | 9,5779 |

Berdasarkan simulasi pada kasus F, dimana dilakukan penggabungan ketiga cara dalam upaya meminimalisir rugi daya pada sistem distribusi 33-bus standart IEEE menggunakan metode algoritma genetika. Pada simulasi tersebut, diperoleh total rugi daya aktif sebesar 14,0372 kW (*rule of thumb*) dan 10,2984 kW (*max demand*). Hasil yang diperoleh melalui pembatasan daya keluaran DG dan kapasitor bank menggunakan metode *max demand* lebih baik dibandingkan dengan hasil pada metode *rule of thumb*. Dimana terdapat selisih sebesar 3,7388 kW pada keduanya. Hasil tersebut merupakan hasil yang paling optimal pada keseluruhan kasus yang telah dilakukan. Jika dipersentasekan, terjadi penurunan rugi daya aktif sebesar 94,92 % terhadap rugi daya aktif awal yang ada pada sistem sistem. Hal tersebut dapat terlihat secara jelas pada gambar grafik berikut ini yang menunjukkan perbaikan rugi daya terhadap sistem distribusi 33-bus standart IEEE sebelum dilakukan optimasi.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan rugi daya aktif pada kasus F

Pada kasus F ini, pengurangan rugi daya terhadap sistem dilakukan dengan melakukan rekonfigurasi jaringan, pemasangan DG dan kapasitor bank. Rekonfigurasi jaringan merupakan upaya untuk meminimalisir rugi daya melalui perubahan topologi jaringan dengan membuka atau menutup sectionalizing atau pun tie switch yang ada pada sistem. Dengan merekonfigurasi jaringan, diperoleh topologi sistem distribusi yang baru dengan pembebanan yang merata. Hal tersebut mengakibatkan aliran daya pada sistem dapat mengalir secara optimal.

Sedangkan, pemasangan DG dan kapasitor bank secara langsung pada bus beban mengakibatkan berkurangnya permintaan daya dari *substation* melalui penyuplaian daya aktif dan daya reaktif. Sehingga, daya yang masih tersedia pada *substation* dapat dialihkan ke beban lain atau dapat dilakukan penambahan beban terhadap sistem. Penempatan DG dan kapasitor secara menyebar atau dalam beberapa unit memiliki hasil yang optimal dalam meminimalisir rugi daya pada sistem dibandingkan penempatan 1 unit saja meskipun memiliki total daya keluaran yang sama [1].

Hasil rugi daya paling minimal yang diperoleh pada kasus F, telah memenuhi syarat yang diberlakukan yakni tegangan pada tiap busnya telah berada pada batas tegangan yang diizinkan (0,95 - 1,05 p.u.). Hal tersebut dapat dilihat pada tabel dan grafik yang disajikan berikut ini.

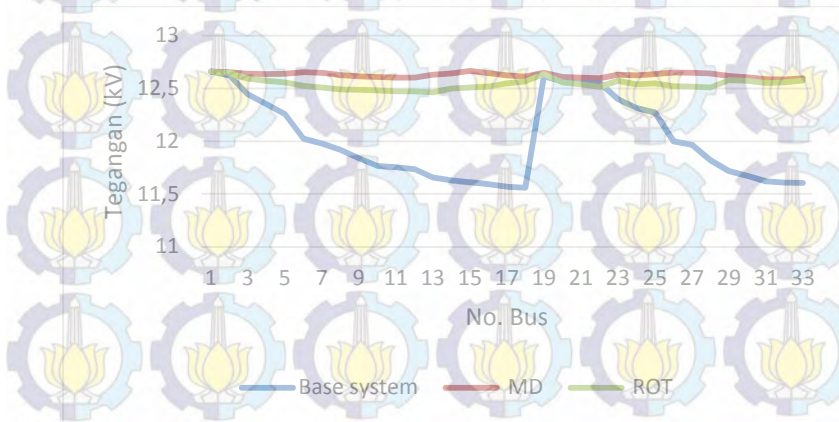
Tabel 4.27 Perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus F

| No. Bus | Basis (kV) | MD (kV) | ROT (kV) |
|---------|------------|---------|----------|
| 1 | 12,66 | 12,66 | 12,66 |
| 2 | 12,62243 | 12,6535 | 12,6445 |
| 3 | 12,44398 | 12,6384 | 12,5926 |
| 4 | 12,34924 | 12,6369 | 12,5727 |
| 5 | 12,25559 | 12,6402 | 12,5569 |
| 6 | 12,02263 | 12,6546 | 12,5228 |
| 7 | 11,9785 | 12,6483 | 12,509 |
| 8 | 11,91717 | 12,6276 | 12,491 |
| 9 | 11,83781 | 12,6155 | 12,4866 |
| 10 | 11,76419 | 12,6093 | 12,4804 |
| 11 | 11,75329 | 12,602 | 12,4708 |
| 12 | 11,73418 | 12,6036 | 12,4725 |
| 13 | 11,65679 | 12,6289 | 12,4622 |
| 14 | 11,62809 | 12,6433 | 12,4982 |
| 15 | 11,61022 | 12,6668 | 12,5072 |
| 16 | 11,5929 | 12,6445 | 12,5185 |
| 17 | 11,56724 | 12,624 | 12,5467 |
| 18 | 11,55955 | 12,6116 | 12,5667 |
| 19 | 12,61574 | 12,6476 | 12,6344 |
| 20 | 12,57045 | 12,609 | 12,5582 |
| 21 | 12,56153 | 12,6016 | 12,54 |
| 22 | 12,55346 | 12,5955 | 12,515 |
| 23 | 12,39858 | 12,6303 | 12,5724 |

Tabel 4.27 Perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus F (tabel lanjutan)

| No. Bus | Basis (kV) | MD (kV) | ROT (kV) |
|---------|------------|---------|----------|
| 24 | 12,31412 | 12,6235 | 12,5397 |
| 25 | 12,27193 | 12,6343 | 12,5485 |
| 26 | 11,9982 | 12,6511 | 12,5193 |
| 27 | 11,96574 | 12,6479 | 12,516 |
| 28 | 11,82092 | 12,6414 | 12,5094 |
| 29 | 11,71687 | 12,6169 | 12,5785 |
| 30 | 11,67184 | 12,6049 | 12,5707 |
| 31 | 11,61915 | 12,5879 | 12,5517 |
| 32 | 11,60756 | 12,5854 | 12,5574 |
| 33 | 11,60397 | 12,5953 | 12,5744 |

Pada tabel diatas terlihat bahwa tegangan pada bus sistem distribusi 33-bus standart IEEE mengalami perbaikan, dimana pada kondisi awal sistem terdapat bus yang mengalami *undervoltage*. Tabel diatas menunjukan, terdapat 1 bus yang nilai tegangannya lebih dari 1 p.u. Namun, masih berada pada batas tegangan yang diperbolehkan yakni antara 0,95-1,05 p.u.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan tegangan (V_{LN}) pada kasus F



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

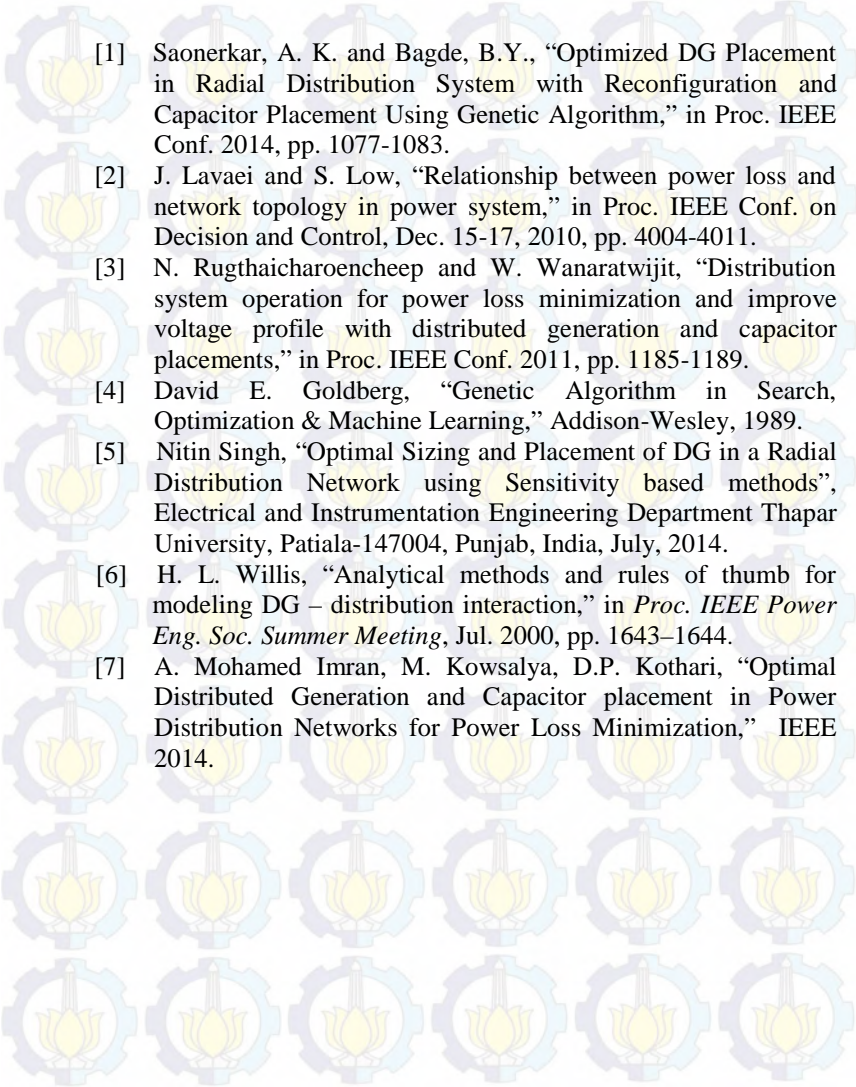
1. Pada basis sistem, terdapat rugi daya aktif sebesar 15,52 % terhadap daya aktif yang disuplai oleh *substation* (3917,686 watt). Dengan pemasangan DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan menggunakan metode algoritma genetika diperoleh perbaikan rugi daya aktif yang sangat optimal. Sehingga, rugi daya aktif pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 0,79 %.
2. Metode yang paling efektif dalam menentukan batas daya keluaran yang dihasilkan DG dan kapasitor untuk memperoleh rugi daya aktif adalah metode *rule of thumb*. Hal tersebut didasari oleh efisiensi antara rugi daya aktif yang diperoleh terhadap besar total daya keluaran yang dimiliki oleh DG dan kapasitor bank.
3. Penggunaan metode algoritma genetika dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang bersifat optimasi, seperti halnya pada tugas ini yang digunakan untuk memperoleh rugi daya aktif yang paling minimal pada sistem distribusi radial yang diujikan.

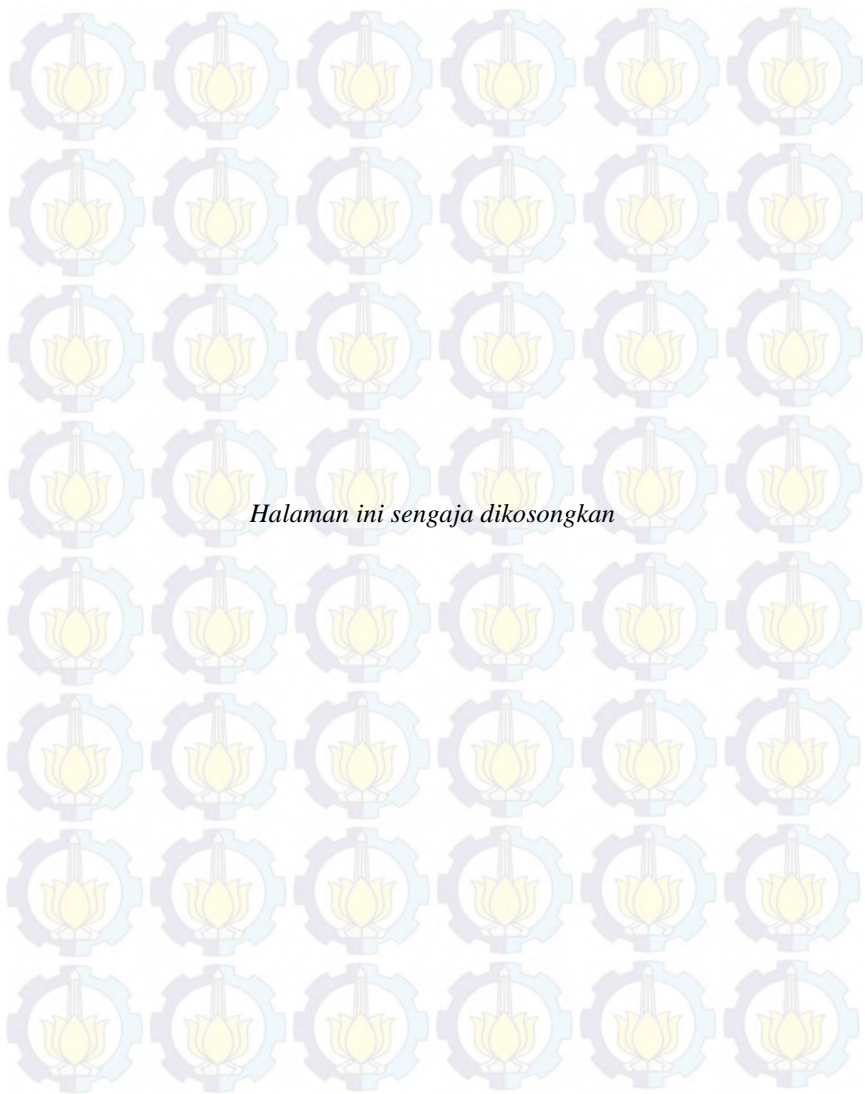
5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan tugas akhir ini adalah

1. Perlu dilakukan pengujian optimasi terhadap sistem distribusi radial dengan menggunakan beberapa fungsi objektif yang dilakukan melalui penggabungan pemasangan DG dan kapasitor bank serta rekonfigurasi jaringan.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap sistem yang tak seimbang, sebagai penyesuaian terhadap kondisi aktif yang ada di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] Saonerkar, A. K. and Bagde, B.Y., “Optimized DG Placement in Radial Distribution System with Reconfiguration and Capacitor Placement Using Genetic Algorithm,” in Proc. IEEE Conf. 2014, pp. 1077-1083.
 - [2] J. Lavaei and S. Low, “Relationship between power loss and network topology in power system,” in Proc. IEEE Conf. on Decision and Control, Dec. 15-17, 2010, pp. 4004-4011.
 - [3] N. Rugthaicharoencheep and W. Wanaratwijit, “Distribution system operation for power loss minimization and improve voltage profile with distributed generation and capacitor placements,” in Proc. IEEE Conf. 2011, pp. 1185-1189.
 - [4] David E. Goldberg, “Genetic Algorithm in Search, Optimization & Machine Learning,” Addison-Wesley, 1989.
 - [5] Nitin Singh, “Optimal Sizing and Placement of DG in a Radial Distribution Network using Sensitivity based methods”, Electrical and Instrumentation Engineering Department Thapar University, Patiala-147004, Punjab, India, July, 2014.
 - [6] H. L. Willis, “Analytical methods and rules of thumb for modeling DG – distribution interaction,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting*, Jul. 2000, pp. 1643–1644.
 - [7] A. Mohamed Imran, M. Kowsalya, D.P. Kothari, “Optimal Distributed Generation and Capacitor placement in Power Distribution Networks for Power Loss Minimization,” IEEE 2014.



LAMPIRAN

Hasil percobaan keseluruhan kasus

Ket : Batasan Daya keluaran DG dan Kapasitor Bank
Menggunakan (*Rule of Thumb*) VS *max demand*

| Case | Comparative Study Of Different Case Studies | | |
|------|---|--------------------|--------------------|
| A | Methodology | Max Demand | Rule of thumb |
| | Switch Opened | 33, 34, 35, 36, 37 | 33, 34, 35, 36, 37 |
| | Power Loss (KW) | 202.686 | 202.686 |
| B | Switch Opened | 7, 9, 14, 28, 32 | 7, 9, 14, 28, 32 |
| | Power Loss (KW) | 139.982 | 139.982 |
| | % Loss Reduction | 30,936 | 30,936 |
| C | Switch Opened | 33, 34, 35, 36, 37 | 33, 34, 35, 36, 37 |
| | Power Loss (KW) | 72.397 | 75.615 |
| | % Loss Reduction | 64,28 | 62,69 |
| D | Switch Opened | 9, 12, 28, 30, 33 | 11, 13, 28, 30, 33 |
| | Power Loss (KW) | 55.3 | 61.523 |
| | % Loss Reduction | 72,7 | 69,646 |
| E | Switch Opened | 33, 34, 35, 36, 37 | 33, 34, 35, 36, 37 |
| | Power Loss (KW) | 16.656 | 16.592 |
| | % Loss Reduction | 91,78 | 91,81 |
| F | Switch Opened | 10, 28, 31, 33, 34 | 10, 13, 28, 30, 33 |
| | Power Loss (KW) | 10.298 | 14.037 |
| | % Loss Reduction | 94,92 | 93,074 |

Topologi sistem kasus A

Substation

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

Load

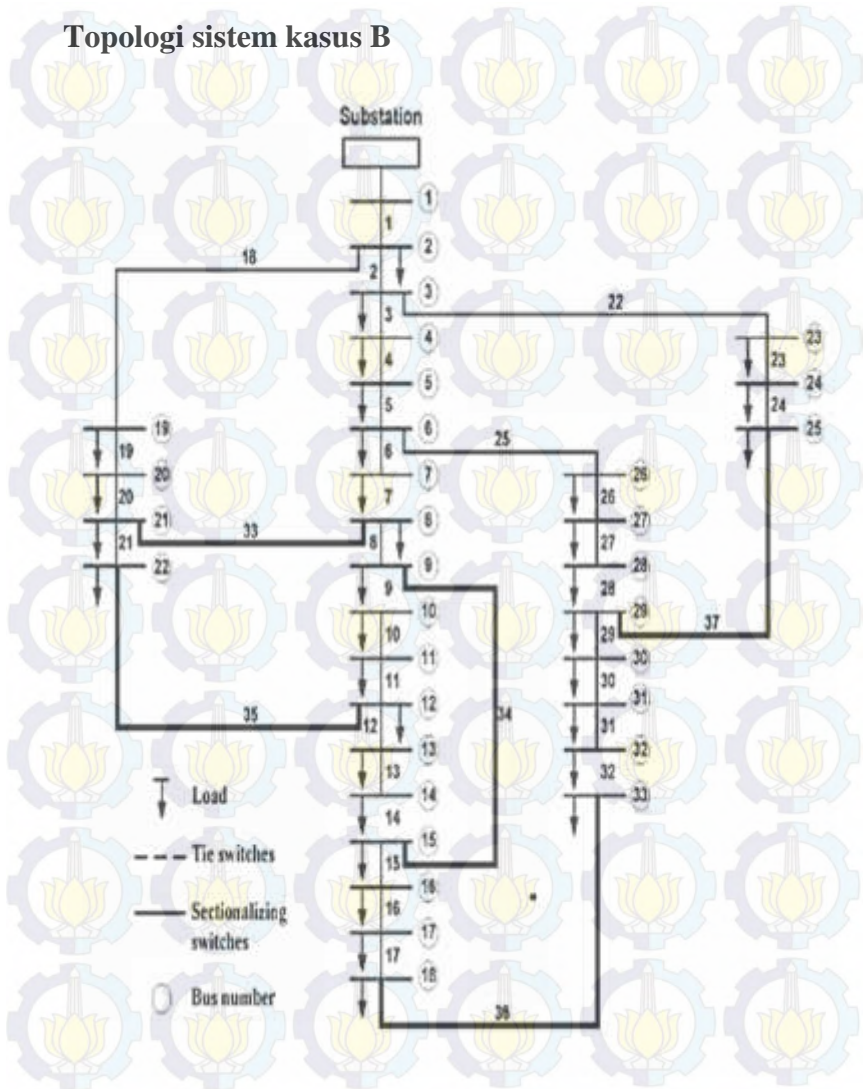
Tie switches

Sectionalizing switches

Bus number

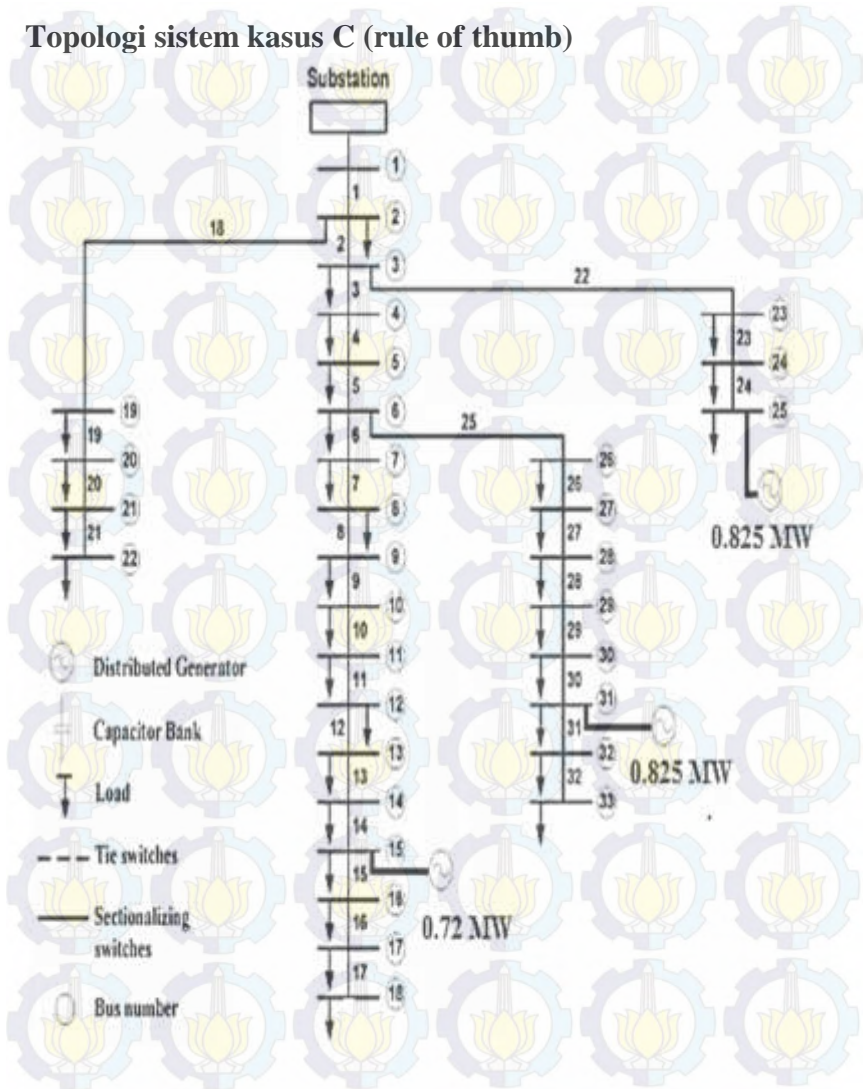
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus B



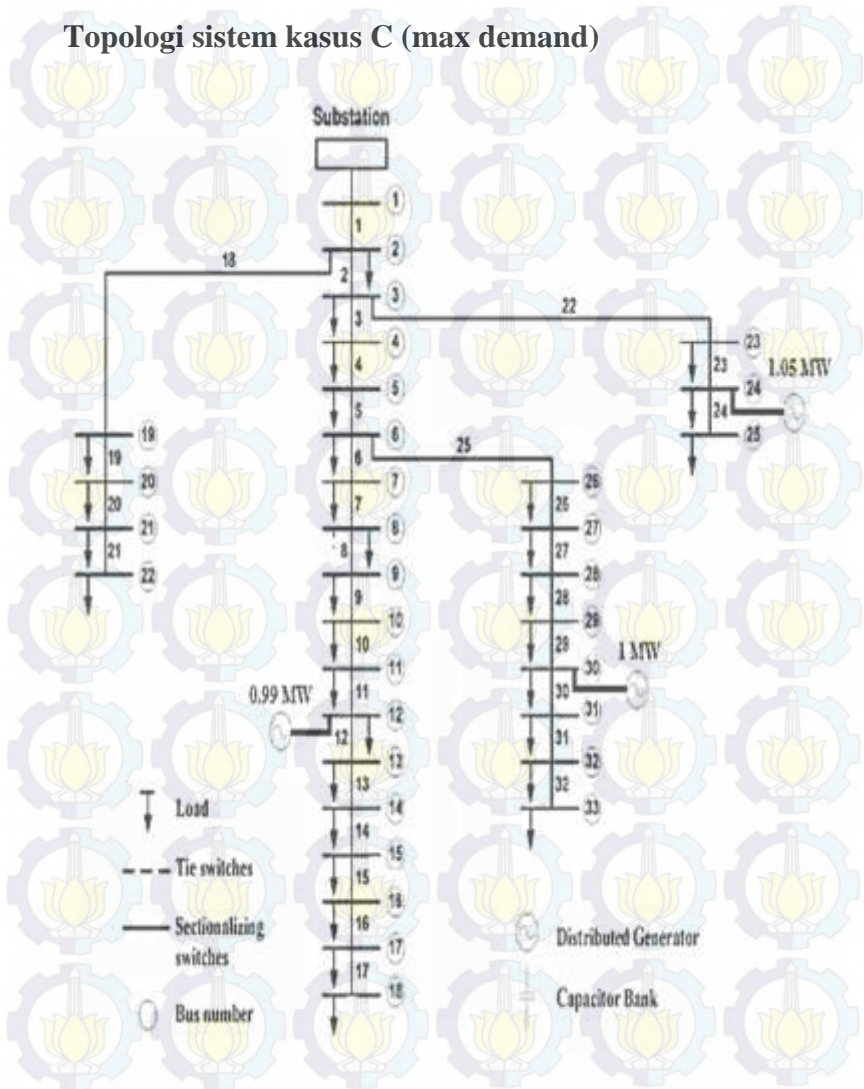
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus C (rule of thumb)



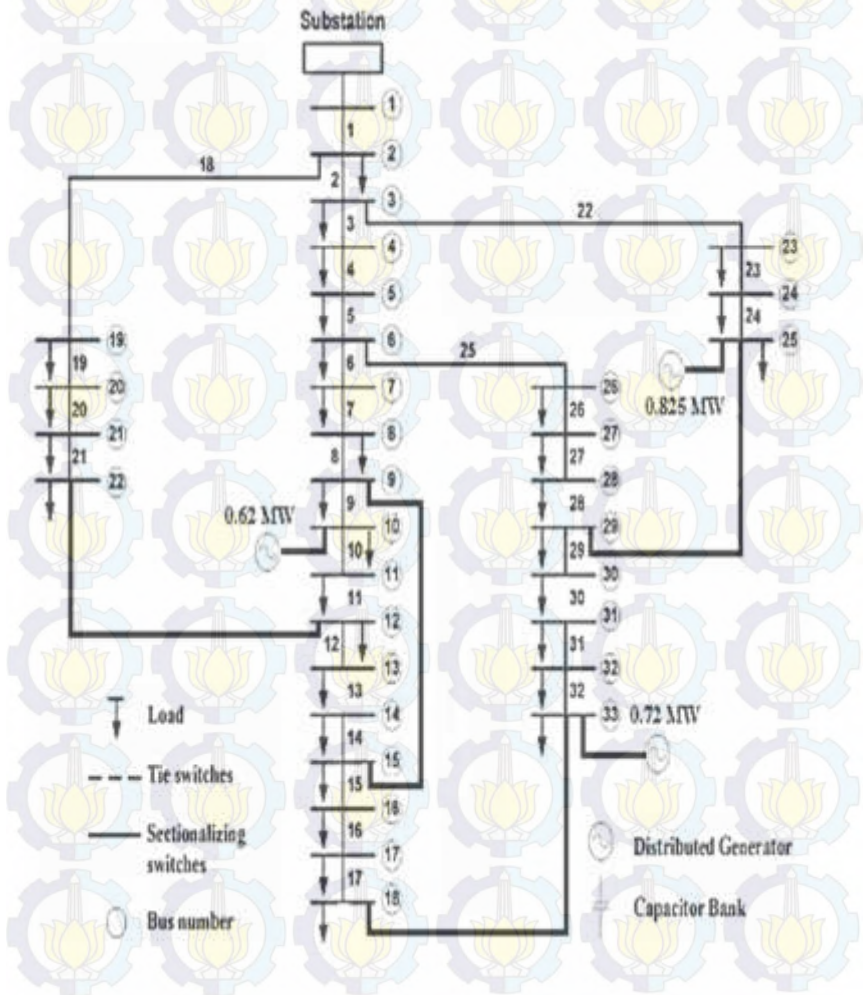
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus C (max demand)



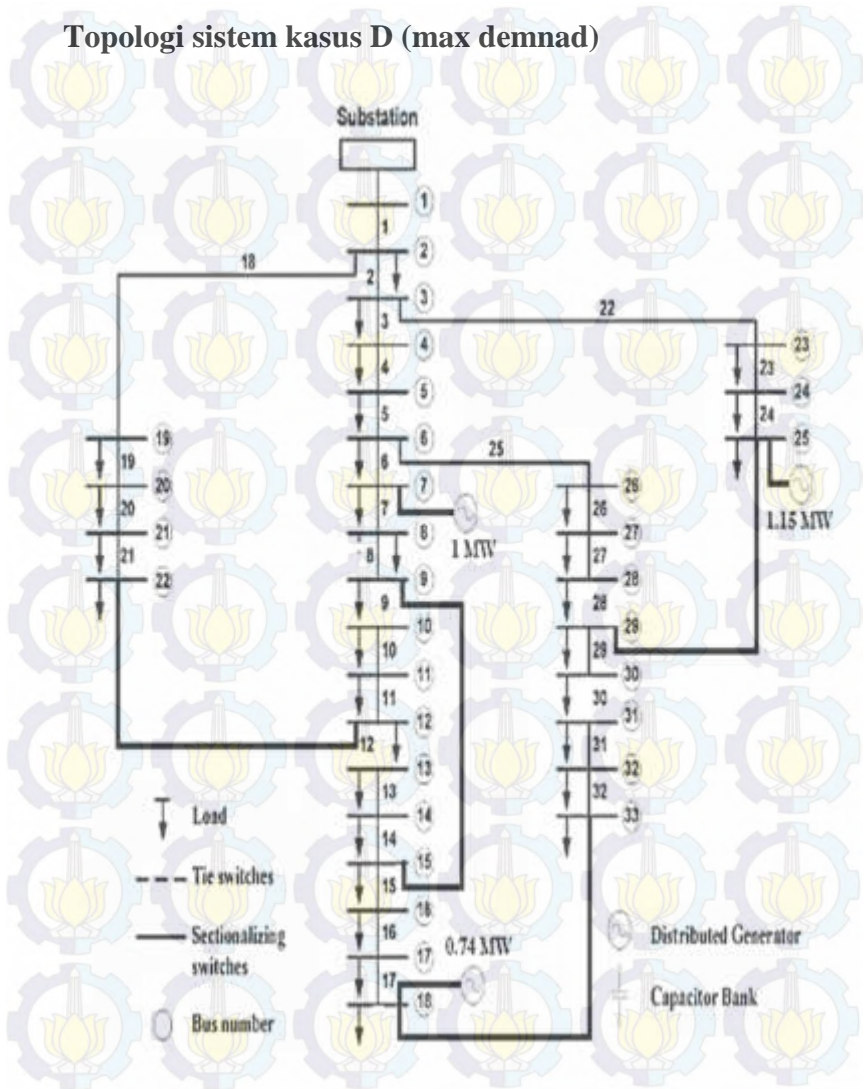
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus D (rule of thumb)



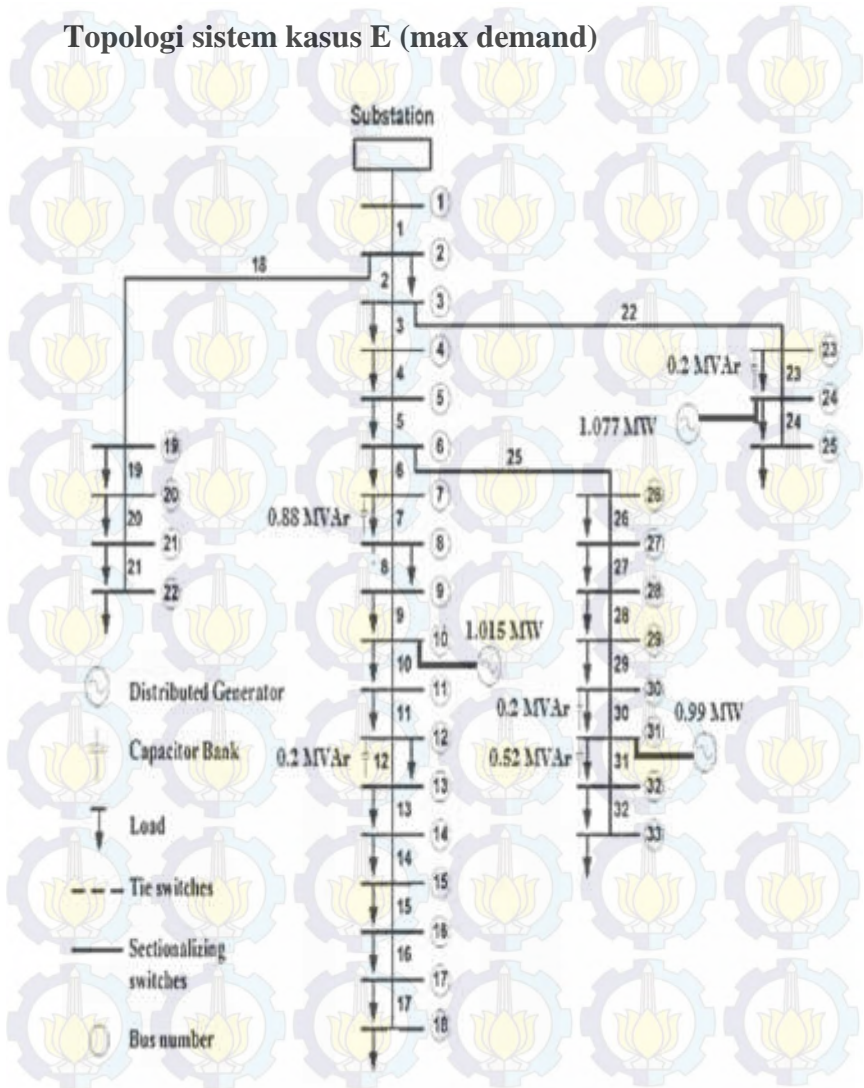
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus D (max demnad)



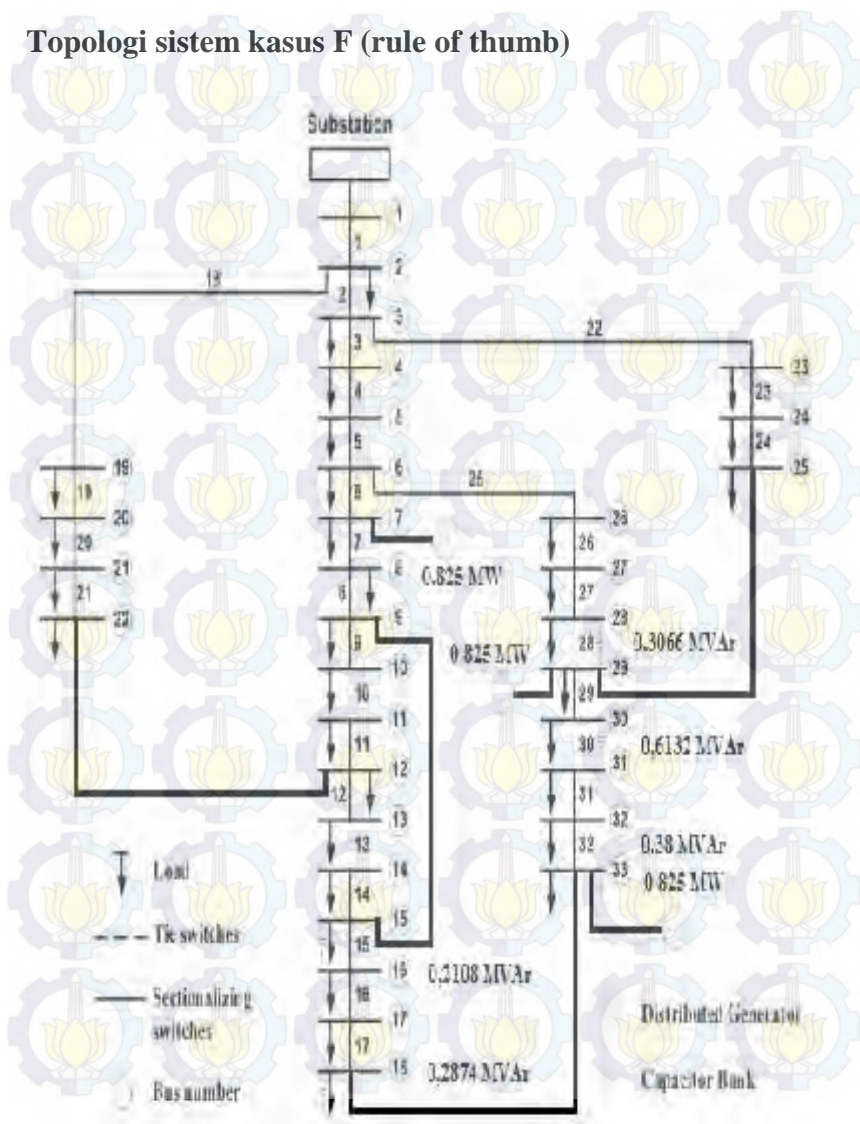
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus E (max demand)



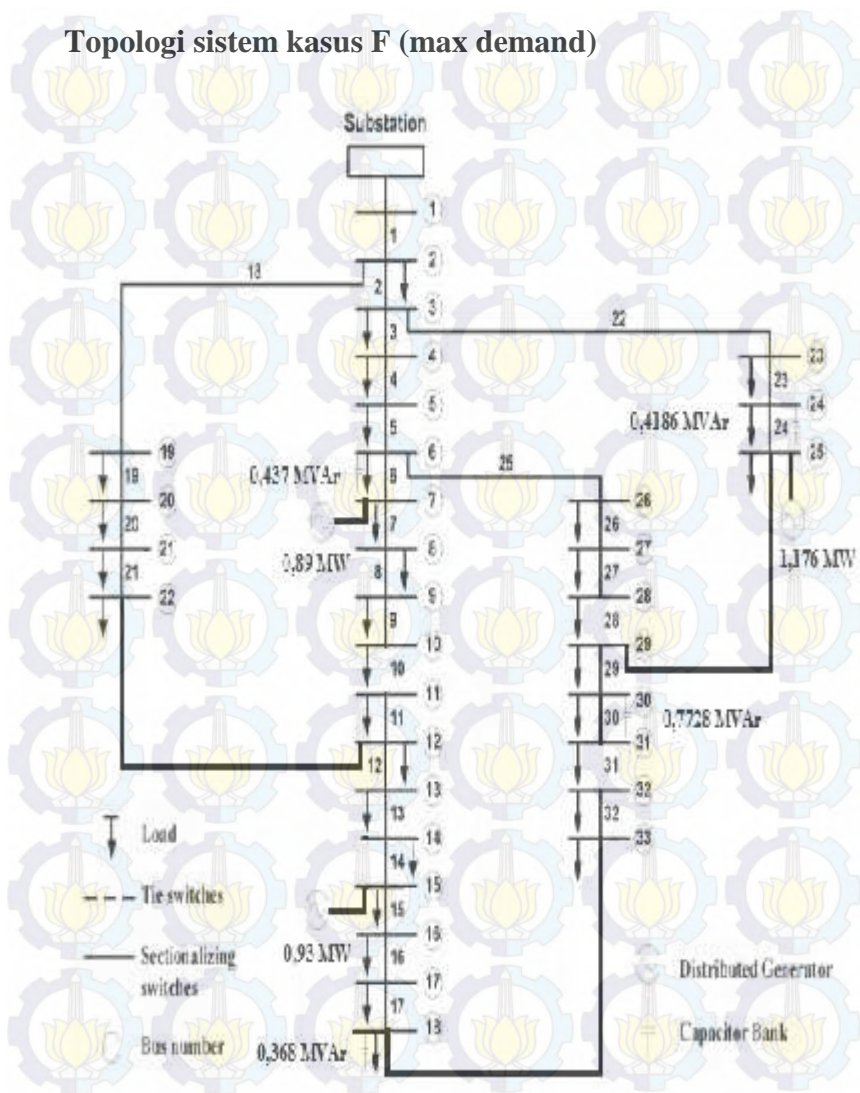
LAMPIRAN

Topologi sistem kasus F (rule of thumb)



LAMPIRAN

Topologi sistem kasus F (max demand)



RIWAYAT PENULIS



Nama : Ridho Fuaddi
NRP : 2213 106 038
Agama : Islam
Alamat : IRNA Bicycle shop, Jl. Lintas Timur,
Pasar lama, Pangkalan Kerinci 28300
Email : ridhofuadi.rf@gmail.com
Orangtua : - Alm. Damrizal (Ayah)
- Helmawati (Ibu)

Penulis dilahirkan di Bukit Kemuning, pada tanggal 16 April 1993. Putra kedua dari empat bersaudara. Penulis memulai pendidikan di SDN 2 Bukit Kemuning (1998-2002) dan SDN 10 Pangkalan Kerinci (2002-2004). Kemudian, melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama dan Sekolah Menengah Atas masing-masing di SMPN 1 (2004-2007) dan SMAN 1 (2007-2010) di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Riau. Selanjutnya, penulis menjalani studi di jenjang Diploma di Politeknik Negeri Padang (angkatan 2010). Setelah selesai, penulis akhirnya melanjutkan pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan konsentrasi bidang studi sistem tenaga.